

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-367291

(43)Date of publication of application : 20.12.2002

51)Int.Cl.

G11B 20/10

G06F 11/10

G11B 20/18

H03M 13/01

H03M 13/35

H03M 13/39

(21)Application number : 2001-176221

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 11.06.2001

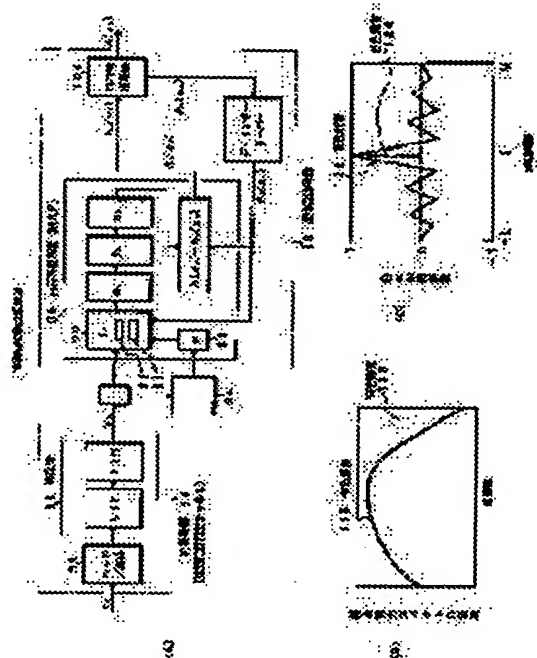
(72)Inventor :
ICHIHARA KAZUTO
SUGAWARA TAKAO
SATO YUICHI
MORITA TOSHIHIKO
TAKATSU MOTOMU

54) INFORMATION RECORDING AND REPRODUCING DEVICE AND METHOD AS WELL AS SIGNAL DECODING CIRCUIT

57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve decoding performance by efficiently incorporating the characteristics of a noise model formed by exactly modeling the noise characteristic of magnetic recording and reproducing channels into a decoding process.

SOLUTION: The correlation of the noises to the past and future states dependent upon the input signal patterns in the past N bit and future Q bit and the dispersion thereof are calculated and stored in a noise correlation computing section 84 by training in maximum a posteriori probability (MAP) decoding. In reproducing the whitening noise values for the past and future states obtained by whitening the chromatic noises by using the correlation of the noises and the dispersion thereof stored by a whitening noise computing section 91 and the input signal (channel information) AC (yk|smk) of the maximum a posteriori probability decoding is calculated from the whitened noise values for the past and future states by an image signal computing section 92 and the likelihood in the maximum a posteriori probability decoding (MAP decoding) is determined from this input signal.



LEGAL STATUS

Date of request for examination]

24.12.2003

Date of sending the examiner's decision of rejection]

Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

Date of final disposal for application]

Patent number]

Date of registration]

Number of appeal against examiner's decision of rejection]

Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

Date of extinction of right]

[0052] Note that a magnetic record/reproduction channel 54 including the head/medium 56 and the equalizer 58 can be deemed as an encoder that converts the output signal x_k of the external encoder 52 into an output signal y_k of the magnetic record/reproduction channel 54. Therefore, the magnetic record/reproduction channel 54 is called herein as an internal encoder 54.

10 [0053] An analog signal y_k shaped by the equalizer 58 is decoded by a repetitive decoder 60, which is a decoder with respect to the external encoder 52 and the magnetic record/reproduction channel 54, and eventual decoded data is acquired after the decoded analog signal y_k go through
15 an RLL/MTR decoder 62, an ECC decoder 64, and a CRC detector 66.

[0152] A fourth embodiment of the present invention will be described next. The fourth embodiment of the present
20 invention realizes a Noise Predictive Maximum Likelihood (NPML) decoding using not only a correlation for the past noise but also a correlation for the future noise in the Viterbi decoding, by employing the shortest path selection method in Fig. 13. The equation for branch metric
25 calculation in this NPML decoding is the same as the equation (25).

[0153] That is, according to the fourth embodiment, the information recording and reproducing apparatus performing the Viterbi decoding comprises: a noise correlation
30 operating unit that calculates correlation and deviation of noises for past and future states which depend on input signal patterns in the past and future; a storage unit that stores the correlation and deviation of noises for the past

and future states; a whitened noise operating unit that determines whitened noise values for the past and future states in which colored noises are changed into whitened noises, by using the correlation and deviation of noises
5 for the past and future states which are stored in the storage unit; and an input signal calculating unit that calculates an input signal of the Viterbi decoding from the whitened noise values for the past and future states and the deviation.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-367291

(P2002-367291A)

(43) 公開日 平成14年12月20日 (2002. 12. 20)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード [*] (参考)
G 1 1 B 20/10	3 4 1	G 1 1 B 20/10	3 4 1 B 5 B 0 0 1
	3 2 1		3 2 1 A 5 D 0 4 4
G 0 6 F 11/10	3 3 0	G 0 6 F 11/10	3 3 0 L 5 J 0 6 5
G 1 1 B 20/18	5 1 2	G 1 1 B 20/18	5 1 2 A
	5 2 0		5 2 0 Z

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 30 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-176221(P2001-176221)

(22) 出願日 平成13年6月11日 (2001. 6. 11)

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号

(72) 発明者 市原 一人

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

(72) 発明者 菅原 隆夫

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

(74) 代理人 100079359

弁理士 竹内 進 (外1名)

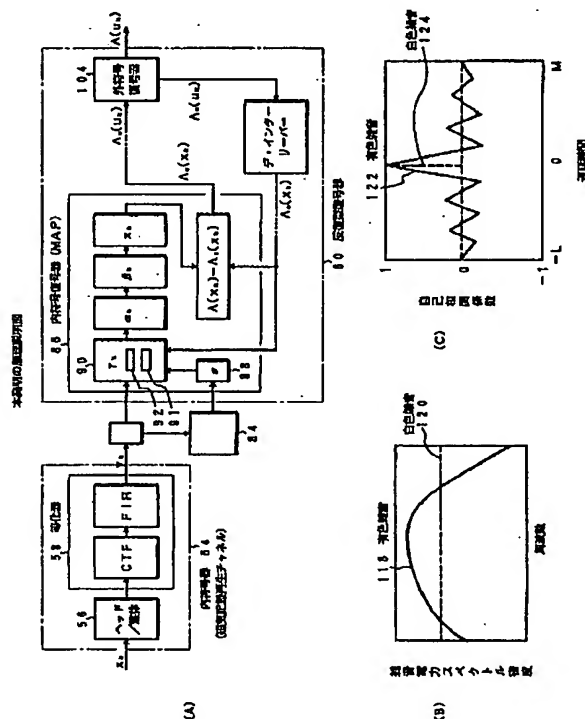
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 情報記録再生装置及び方法並びに信号復号回路

(57) 【要約】

【課題】磁気記録再生チャネルの雑音特性を正確にモデル化した雑音モデルの特性を効率的に復号過程に取り入れて復号性能を向上させる。

【解決手段】最大事後確率復号 (MAP 復号) において、トレーニングにより雑音相関演算部 8 4 で過去 N ビット及び未来 Q ビットにおける入力信号パターンに依存した過去及び未来の状態に対する雑音の相関とその分散を算出して記憶する。再生時は、白色化雑音演算部 9 1 が記憶した雑音の相関とその分散を使って有色雑音を白色化した過去及び未来の状態に対する白色化雑音値を求め、入力信号演算部 9 2 が過去及び未来の状態に対する白色化した雑音値とその分散から最大事後確率復号の入力信号 (チャネル情報) $\Lambda_c (y_k | s_k)$ を算出し、この入力信号から最大事後確率復号 (MAP 復号) における尤度を求める。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】情報記録再生装置において、
現在と過去又は未来における入力信号パターンに依存した現在に対する雑音の分散と雑音の相関を算出する雑音相関演算部と、
前記雑音の相関と前記分散を記憶する記憶部と、
前記記憶部に記憶した雑音の相関と分散を使って有色雑音を白色化した前記入力信号パターンに対する白色化雑音値を求める白色化雑音演算部と、
前記白色化した雑音値と白色化した雑音の分散から符号器の入力信号を算出する入力信号演算部と、を備えたことを特徴とする情報記録再生装置。

【請求項 2】情報記録再生装置において、
等化後雑音が白色雑音に近くなる等化目標を備えた等化器と、
前記等化器からの入力信号に対し、現在と過去又は未来における入力信号パターンに依存した現時点に対する雑音の分散を算出する雑音相関演算部と、
前記雑音の分散を記憶する記憶部と、
前記記憶部に記憶した分散から復号器の入力信号を算出する入力信号演算部と、を備えたことを特徴とする情報記録再生装置。

【請求項 3】情報記録再生装置において、
等化後雑音が白色雑音に近くなる等化目標を備えた等化器と、
前記等化器からの入力信号に対し、現在と過去又は未来における入力信号パターンに依存した現時点に対する雑音の分散を算出する雑音相関演算部と、
前記雑音の分散を記憶する記憶部と、
等化後の入力信号の系列を小さなウインドウ系列に分割し、ウインドウ系列の順番に、前記記憶部に記憶した分散から入力信号（チャネル信号）の尤度を算出するスライディング・ウインドウ処理部と、を備えたことを特徴とする情報記録再生装置。

【請求項 4】情報記録再生方法において、
現在と過去又は未来における入力信号パターンに依存した現時点に対する雑音の分散と、雑音の相関を求めて記憶し、
前記雑音の相関と分散を使って有色雑音を白色化した前記入力信号パターンに対する白色化雑音値を求め、
前記白色化した雑音値と白色化した雑音の分散から復号器の入力信号を算出することを特徴とする情報記録再生方法。

【請求項 5】情報記録再生方法において、
等化後雑音が白色雑音に近くなる等化信号を対象に、現在と過去又は未来における入力信号パターンに依存した現時点に対する雑音の分散を算出して記憶し、
前記記憶した分散から復号器の入力信号を算出することを特徴とする情報記録再生方法。

【請求項 6】最大事後確率復号（MAP 復号）を行う情

報記録再生方法において、
等化後雑音が白色雑音に近くなる等化後の入力信号系列を対象に、過去及び未来における入力信号パターンに依存した過去及び未来の状態に対する雑音の分散を算出して記憶部し、
等化後の入力信号系列を小さなウインドウ系列に分割し、ウインドウ系列の順番に、前記記憶部に記憶した分散から入力信号の尤度をスライディングしながら算出することを特徴とする情報記録再生方法。

【請求項 7】信号復号回路において、
現在と過去又は未来における入力信号パターンに依存した現在に対する雑音の分散と雑音の相関を算出する雑音相関演算部と、
前記雑音の相関と前記分散を記憶する記憶部と、
前記記憶部に記憶した雑音の相関と分散を使って有色雑音を白色化した前記入力信号パターンに対する白色化雑音値を求める白色化雑音演算部と、
前記白色化した雑音値と白色化した雑音の分散から符号器の入力信号を算出する入力信号演算部と、を備えたことを特徴とする信号復号回路。

【請求項 8】信号復号回路において、
等化後雑音が白色雑音に近くなる等化目標を備えた等化器と、
前記等化器からの入力信号に対し、現在と過去又は未来における入力信号パターンに依存した現時点に対する雑音の分散を算出する雑音相関演算部と、
前記雑音の分散を記憶する記憶部と、
前記記憶部に記憶した分散から復号器の入力信号を算出する入力信号演算部と、を備えたことを特徴とする信号復号回路。

【請求項 9】信号復号回路において、
等化後雑音が白色雑音に近くなる等化目標を備えた等化器と、
前記等化器からの入力信号に対し、現在と過去又は未来における入力信号パターンに依存した現時点に対する雑音の分散を算出する雑音相関演算部と、
前記雑音の分散を記憶する記憶部と、
等化後の入力信号の系列を小さなウインドウ系列に分割し、ウインドウ系列の順番に、前記記憶部に記憶した分散から入力信号（チャネル信号）の尤度を算出するスライディング・ウインドウ処理部と、を備えたことを特徴とする信号復号回路。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、磁気ディスク、MO、光ディスク、磁気テープなどの情報記録再生装置及び方法に関し、特に反復型復号に磁気記録再生系の雑音特性を取り込んで復号する情報記録再生装置及び方法に関する。

【0002】

【従来技術】従来、記録再生装置には、記録した信号を誤りなく再生するため、強力なエラー訂正機能が搭載されている。このエラー訂正によって初めて、ノイズが含まれた不安定な信号の中から記録信号を確実に復元することが可能となる。

【0003】近年、記録再生装置のエラー訂正は、主としてPRML (Partial Response Maximum Likelihood) 及びECC (Error Correcting Code) と呼ぶ2つの手法の組合せによって実現されている。

【0004】PRMLは、記録チャネルを符号間干渉のあるパーシャルレスポンスチャネル (PRチャネル) とみなし、一般にビタビ検出器を用いた最尤復号 (Maximum Likelihood Detection) を行う方法である。

【0005】また近年、PRMLに変わる新しい符号・復号方法として、ターボ符号や低密度パリティ検査符号 (LDPC: Low Density Parity Check Code) 等が提案されている。これらは反復計算で復号を行うことから、ここでは反復型復号法 (iterative method) と総称する。

【0006】反復型復号法としては、米国特許第5446747号明細書図面に開示されているターボ符号が代表的である。ターボ符号は、2つの再帰的組織畳み込み符号 (RSC: Recursive systematic convolutional code) をランダムインターリーブを介して接続した並列接続 (parallel concatenation) 符号であり、復号は2つの軟入力出力復号器を用いた反復計算によって行う。

【0007】ターボ符号は通信の分野で考案されたが、磁気記録再生系のPRチャネルに適用する場合、2つの要素符号器 (constituent encoder) をランダムインターリーブを介して縦列接続 (serial concatenation) した構成を取る。この時、チャネルに近い要素符号器を内符号器 (inner encoder)、もう一方の要素符号器を外符号器 (outer encoder) と呼ぶ。PRチャネルでは、チャネル自体を畳み込み符号器とみなすことができるので、内符号器は明に設ける必要がない。一方、外符号器としては、2つの再帰的組織畳み込み符号 (RSC) を用いるものや1つの再帰的組織畳み込み符号 (RSC) を用いるものなどが各種提案されている。

【0008】また、文献「R. G. Gallager, "Low-Density Parity-Check Codes," Cambridge, MA: MIT Press, 1963」に開示される低密度パリティ検査符号 (LDPC: Low density parity check codes) を用いる場合もある。反復型復号法の復号器は、内復号器と外復号器と呼ぶ2つの要素復号器 (constituent decoder) で構成する。反復型復号法で特徴的な点は、最大事後確率 (MAP: Maximum a posteriori Probability) 復号を行うという点であり、そのため2つの要素復号器はいずれも軟入力・軟出力 (SISO: Soft-In/Soft-Out) 復号器となる。SISO復号器は単なる0または1といった硬判定結果を出力するのではなく、0.4や0.9といった信頼度情報を出

力する。畳込み符号等の状態遷移で定義される符号に対する軟入力軟出力 (SISO) 復号の具体的な計算法として、BCJRアルゴリズム (Bahl-Cocke-Jelinek-Raviv) がある。BCJRアルゴリズムは、文献「L. R. Bahl et al., "Optimal decoding of linear codes for minimizing symbol error rate," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 20, pp. 248-87, 1974.」に詳しく説明されている。このような反復型復号法は、PRML復号法を上回る高いエラー訂正能力を有しており、次世代符号復号方法として有望視されている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】ところで、情報記録再生装置にあっては、磁気記録再生チャネルの雑音特性を正確に予測して復号過程に取り入れるようにすれば、エラーレート性能を向上させることができる。

【0010】従来の情報記録再生装置における雑音予測法 (Noise prediction scheme) としてベースとなる復号法は、ビタビによる最尤復号法 (Viterbi Maximum Likelihood) であり、例えば米国特許第6158027号明細書図面、同第6104766号明細書図面、同第5784415号明細書図面およびEPC特許第WO9852330号明細書図面などがある。

【0011】しかしながら、これらの特許の中には、最大事後確率復号法 (MAP: maximum a posteriori probability)、ターボ (Turbo) 復号法、低密度パリティ検査符号法 (LDPC) 等の反復型復号法 (Iterative decoding Method) へ雑音予測法を適用したものではない。また、これらの特許では、雑音相関の入力信号パターン依存性は全く考慮しておらず、雑音モデルとしての取り扱いが極めて不十分であった。

【0012】一方、論文「A. Kavcic and A. Patapoutian, "A signal-dependent autoregressive channel models," IEEE Trans. Magn., vol. 35, no. 5, pp. 2316-2318, Sept. 1999.」や論文「A. Kavcic, "Soft-Output Detector for Channels with Intersymbol Interference and Markov Noise Memory," Proc. IEEE Global Telecomm. Conf., Dec. 1999.」では、過去の雑音に対する相関が入力信号パターンに依存するということを初めて議論し、これをビタビアルゴリズムや最大事後確率アルゴリズム (MAPアルゴリズム) に適用しているが、未来の雑音に対する相関は考慮されていない。

【0013】また、論文、Dec. 1999. 「Y. Wu and J. R. Cruz, "Noise predictive turbo systems," TMRC'2000 Paper E5, Aug. 2000.」や論文「T. R. Oenning, "Channel capacity and coding for magnetic recording channels with media noise," PhD thesis, the University of Minnesota, Sept. 2000.」では、雑音予測法 (Noise prediction scheme) に基づいた雑音相関の対処法を、反復型復号法へ適用する方法を初めて議論しているが、雑音相関が入力信号のパターンに依存するという

ことは考慮しておらず、雑音モデルの取り扱いが不十分であった。

【0014】本発明は、磁気記録再生チャネルの雑音特性を正確にモデル化し、この雑音モデルの特性を効率的に復号過程に取り入れることにより復号性能を向上させる情報記録再生装置及び方法並びに信号復号回路を提供することを目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】図1は、本発明の原理説明図である。本発明は、図1(A)の最大事後確率復号(MAP復号)を行う情報記録再生装置において、過去及び未来、即ち過去Nビット及び未来Qビットにおける入力信号パターン x_{k-N}, \dots, x_{k+Q} に依存した過去及び未来の状態に対する図1(C)の自己相関122のような雑音の相関 $e(s_k)$ とその分散 $\sigma(s_k)$ を算出する雑音相関演算部84と、過去及び未来の状態に対する雑音の相関 $e(s_k)$ とその分散 $\sigma(s_k)$ を記憶する記憶部88と、記憶部88に記憶した雑音の相関 $e(s_k)$ とその分散 $\sigma(s_k)$ を使って図1(B)の周波数スペクトル118を持つ有色雑音を、周波数スペクトル120の白色化した過去及び未来の状態に対する白色化雑音値 n_k を求める白色化雑音演算部91と、過去及び未来の状態に対する白色化した雑音値とその分散 $\sigma(s_k)$ から最大事後確率復号の入力信号(チャネル情報) $\Lambda c(y_k | s_k)$ を算出する入力信号演算部とを備え、この入力信号から最大事後確率復号(MAP復号)における尤度を求めるようにしたことを特徴とする。

【0016】このように本発明は、情報記録再生装置に特有の雑音モデルとして、過去及び未来の入力信号パターンに依存した相関を持つガウスマルコフ型(Gauss-Markov型)の有色雑音モデルを仮定し、この雑音モデルの特性をできるだけ計算効率のよい方法で復号に取り込むことで、復号性能を向上させる。特に、有色雑音モデルをガウス型(Gauss型)で表現し、入力信号依存性のある正確な相関値(分散)を用いることで復号性能を向上させる。

【0017】また本発明は、一般的な反復型復号(Iterative decoding)を行う情報記録再生装置において、同様に、過去Nビット及び未来Qビットにおける入力信号パターン x_{k-N}, \dots, x_{k+Q} に依存した過去及び未来の状態に対する雑音の相関 $e(s_k)$ とその分散 $\sigma(s_k)$ を算出する雑音相関演算部と、過去及び未来の状態に対する雑音の相関 $e(s_k)$ とその分散 $\sigma(s_k)$ を記憶する記憶部と、記憶部に記憶した過去及び未来の状態に対する雑音の相関 $e(s_k)$ とその分散 $\sigma(s_k)$ を使って有色雑音を白色化した過去及び未来の状態に対する白色化雑音値 n_k を求める白色化雑音演算部と、過去及び未来の状態に対する白色化した雑音値とその分散 $\sigma(s_k)$ から反復型復号の入力信号(チャネル情報) $\Lambda c(y_k | s_k)$ を算出する入力信号算出部とを備え、こ

の入力信号から反復型復号における尤度を求めるようにしたことを特徴とする。

【0018】この場合にも、有色雑音モデルをガウス型(Gauss型)で表現し、入力信号依存性のある正確な相関値(分散)を用いることで復号性能を向上させる。

【0019】本発明は、最大事後確率復号(MAP復号)を行う簡易型の情報記録再生装置として、等化後雑音が白色雑音に近くなる等化目標を備えた等化器と、等化器からの入力信号を対象に、過去Nビット及び未来Qビットにおける入力信号パターン x_{k-N}, \dots, x_{k+Q} に依存した過去及び未来の状態に対する雑音の分散 σ

(s_k)を算出する雑音相関演算部と、過去及び未来の状態に対する雑音の分散 $\sigma(s_k)$ を記憶する記憶部と、記憶部に記憶した分散 $\sigma(s_k)$ から最大事後確率復号の入力信号(チャネル情報) $\Lambda c(y_k | s_k)$ を算出する入力信号演算部とを備え、この入力信号から最大事後確率復号(MAP復号)における尤度を求めるようにしたことを特徴とする。

【0020】このように等化後雑音が白色雑音に近くなる等化目標を備えた等化器を使用すれば、過去及び未来の状態に対する雑音の相関とその分散を使って有色雑音を白色化した過去及び未来の状態に対する白色化雑音値を求める白色化雑音演算が不要となり、入力信号の計算に使用する雑音パラメータも雑音の分散のみとなり、計算量が大幅に低減し、メモリ使用量も少なく、非常に実用性の高い簡潔な装置構成となる。

【0021】また本発明は、一般的な反復型復号を行う同じく簡易型の情報記録再生装置として、等化後雑音が白色雑音に近くなる等化目標を備えた等化器と、等化器からの入力信号を対象に、過去Nビット及び未来Qビットにおける入力信号パターン x_{k-N}, \dots, x_{k+Q} に依存した過去及び未来の状態に対する雑音の分散 $\sigma(s_k)$ を算出する雑音相関演算部と、過去及び未来の状態に対する雑音の分散 $\sigma(s_k)$ を記憶する記憶部と、記憶部に記憶した分散 $\sigma(s_k)$ から反復型復号の入力信号(チャネル情報) $\Lambda c(y_k | s_k)$ を算出する入力信号演算部とを備え、この入力信号から反復型復号における尤度を求めるようにしたことを特徴とする。

【0022】本発明は、最大事後確率復号(MAP復号)を行う情報記録再生装置において、等化後雑音が白色雑音に近くなる等化目標を備えた等化器と、等化器からの入力信号を対象に、過去Nビット及び未来Qビットにおける入力信号パターン x_{k-N}, \dots, x_{k+Q} に依存した過去及び未来の状態に対する雑音の分散 $\sigma(s_k)$ を算出する雑音相関演算部と、過去及び未来の状態に対する雑音の分散 $\sigma(s_k)$ を記憶する記憶部と、等化後の入力信号系列を小さなウィンドウ系列に分割し、ウィンドウ系列の順番に、前記記憶部に記憶した分散 $\sigma(s_k)$ から入力信号(チャネル情報) $\Lambda c(y_k | s_k)$ を求め、尤度を算出するスライディング・ウィンドウ処理部と

を備えたことを特徴とする。

【0023】このように本発明にスライディング・ウィンドウ法 (Sliding Window法) を適用することにより、更に復号処理で使用するメモリ領域を削減できる。

【0024】また本発明は、一般的な反復型復号 (Iterative decoding) を行う情報記録再生装置において、等化後雑音が白色雑音に近くなる等化目標を備えた等化器と、等化器からの入力信号を対象に、過去Nビット及び未来Qビットにおける入力信号パターン x_{k-N}, \dots, x_{k+Q} に依存した過去及び未来の状態に対する雑音の分散 $\sigma(s_k)$ を算出する雑音相関演算部と、過去及び未来の状態に対する雑音の分散 $\sigma(s_k)$ を記憶する記憶部と、等化後の入力信号系列を小さなウィンドウ系列に分割し、ウィンドウ系列の順番に、記憶部に記憶した分散 $\sigma(s_k)$ から入力信号 (チャネル信号) $\Lambda c(y_k | s_k)$ を求め、尤度を算出するスライディング・ウィンドウ処理部とを備えたことを特徴とする。

【0025】更に本発明は、ビタビ復号を行う情報記録再生装置において、過去Nビット及び未来Qビットにおける入力信号パターン x_{k-N}, \dots, x_{k+Q} に依存した過去及び未来の状態に対する雑音の相関 $e(s_k)$ とその分散 $\sigma(s_k)$ を算出する雑音相関演算部と、過去及び未来の状態に対する雑音の相関 $e(s_k)$ とその分散 $\sigma(s_k)$ を記憶する記憶部と、記憶部に記憶した過去及び未来の状態に対する雑音の相関 $e(s_k)$ とその分散 $\sigma(s_k)$ を使って有色雑音を白色化した過去及び未来の状態に対する白色化雑音値 n_k を求める白色化雑音演算部と、過去及び未来の状態に対する白色化した雑音値とその分散 $\sigma(s_k)$ からビタビ復号のブランチメトリック (チャネル信号) $\Lambda c(y_k | s_k)$ を算出するブランチメトリック算出部とを備え、この入力信号からビタビ復号における尤度を求めるようにしたことを特徴とする。

【0026】ここで最大事後確率復号、反復型復号およびビタビ復号における白色化雑音演算部は、過去Nビット及び未来Qビットにおける現在の一つ前の状態 s_{k-1} から現在の状態 s_k へ遷移するパスを通過する過去及び未来の区間 $k-L-1 \sim k+M$ の全てのパスの内、パスメトリックが最小となる最短パスの等化波形平均値を求めて白色化した等化雑音値を推定する。

【0027】また本発明の情報記録再生装置は、過去Nビットのみ又は未来Qビットにおける入力信号パターンを対象とすることで、簡略化しても良い。

【0028】雑音相関演算部は、入力信号パターンに対する等化信号の平均値を求め、等化波形と平均値との差により入力信号パターンに依存した雑音の相関とその分散を求める。これにより正確な入力信号に依存した雑音の相関と分散を求めることができる。

【0029】雑音相関演算部は、MTTR拘束等の拘束条件付き符号を磁気記録して再生する場合、拘束を掛けな

いランダムな入力信号を使用したトレーニングにより、入力信号パターンに依存した雑音の相関とその分散を求める。これによりMTTR拘束によって出現確率が低く抑えられたパターンが存在した場合でも、効果的に雑音相関を求めるためのトレーニング回数の削減する。またMTTR拘束を考慮した復号を行うことによって、復号に要する状態とパスを削減し、効率を高めて復号性能 (エラーレート) を向上できる。

【0030】雑音相関演算部は、記憶部に、雑音の相関と分散をトラック幅方向に対する再生ヘッドの所定のオフトラック間隔で記憶し、媒体プリアンプ部の振幅値の変化からオフトラック量を検知し、このオフトラック量に応じた雑音の相関と分散を前記記憶部から読み出して復号に使用し、より正確な復号を行う。

【0031】雑音相関演算部は、記憶部に、雑音の相関と分散をゾーン毎、シリンダ毎、あるいはセクタ毎に記憶して、それぞれの復号に使用することで、正確な復号を行う。

【0032】雑音相関演算部は、媒体のトレーニングセクタ又はトレーニングシリンダに記録したトレーニング系列の再生信号から雑音の相関と分散を求めることで、トレーニング効率を向上させる。

【0033】雑音相関演算部は、記憶部に記憶した雑音の相関とその分散を、媒体の各セクタ毎のプリアンプの振幅値に応じて補正して求めることで、精度の高い復号を行う。更に、雑音相関演算部は、ある特定のタイミングで、雑音の相関と分散を再計算して記憶部を更新し、雑音パラメータの時間劣化に対応した耐久性のある装置を実現する。

【0034】本発明は最大事後確率復号 (MAP復号) を行う情報記録再生方法において、過去Nビット及び未来Qビットにおける入力信号パターン x_{k-N}, \dots, x_{k+Q} に依存した過去及び未来の状態に対する雑音の相関 $e(s_k)$ とその分散 $\sigma(s_k)$ を算出して記憶し、記憶した雑音の相関 $e(s_k)$ とその分散 $\sigma(s_k)$ を使って有色雑音を白色化した過去及び未来の状態に対する白色化雑音値 n_k を求め、過去及び未来の状態に対する白色化した雑音値とその分散 $\sigma(s_k)$ から最大事後確率復号の入力信号 (チャネル信号) $\Lambda c(y_k | s_k)$ を算出することを特徴とする。

【0035】本発明は、一般的な反復型復号を行う情報記録再生方法において、過去Nビット及び未来Qビットにおける入力信号パターン x_{k-N}, \dots, x_{k+Q} に依存した過去及び未来の状態に対する雑音の相関 $e(s_k)$ とその分散 $\sigma(s_k)$ を算出して記憶し、記憶した過去及び未来の状態に対する雑音の相関 $e(s_k)$ とその分散 $\sigma(s_k)$ を使って有色雑音を白色化した過去及び未来の状態に対する白色化雑音値 n_k を求め、過去及び未来の状態に対する白色化した雑音値とその分散 $\sigma(s_k)$ から反復型復号の入力信号 (チャネル信号) $\Lambda c(y_k | s_k)$

s_k) を算出することを特徴とする。

【0036】本発明は最大事後確率復号 (MAP 復号) を行う情報記録再生方法において、等化後雑音が白色雑音に近くなる等化信号を対象に、過去 N ビット及び未来 Q ビットにおける入力信号パターン x_{k-N}, \dots, x_{k+Q} に依存した過去及び未来の状態に対する雑音の分散 $\sigma(s_k)$ を算出して記憶し、記憶した分散 $\sigma(s_k)$ から最大事後確率復号の入力信号 (チャネル信号) $\Lambda c(y_k | s_k)$ を算出することを特徴とする。

【0037】本発明は、反復型復号を行う情報記録再生方法において、等化後雑音が白色雑音に近くなる等化信号を対象に、過去 N ビット及び未来 Q ビットにおける入力信号パターン x_{k-N}, \dots, x_{k+Q} に依存した過去及び未来の状態に対する雑音の分散 $\sigma(s_k)$ を算出して記憶部し、記憶部に記憶した分散 $\sigma(s_k)$ から反復型復号の入力信号 (チャネル信号) $\Lambda c(y_k | s_k)$ を算出することを特徴とする。

【0038】本発明は最大事後確率復号 (MAP 復号) を行う情報記録再生方法において、等化後雑音が白色雑音に近くなる等化後の入力信号系列を対象に、過去 N ビット及び未来 Q ビットにおける入力信号パターン x_{k-N}, \dots, x_{k+Q} に依存した過去及び未来の状態に対する雑音の分散 $\sigma(s_k)$ を算出して記憶部し、等化後の入力信号系列を小さなウィンドウ系列に分割し、ウィンドウ系列の順番に、記憶部に記憶した分散 $\sigma(s_k)$ から入力信号 (チャネル信号) $\Lambda c(y_k | s_k)$ を求め、尤度をスライディングしながら算出することを特徴とする。

【0039】本発明は、反復型復号を行う情報記録再生方法において、等化後雑音が白色雑音に近くなる等化信号を対象に、過去 N ビット及び未来 Q ビットにおける入力信号パターン x_{k-N}, \dots, x_{k+Q} に依存した過去及び未来の状態に対する雑音の分散 $\sigma(s_k)$ を算出して記憶し、等化後の入力信号系列を小さなウィンドウ系列に分割し、ウィンドウ系列の順番に、前記憶部に記憶した分散 $\sigma(s_k)$ から入力信号 (チャネル信号) $\Lambda c(y_k | s_k)$ を求め、尤度をスライディングしながら算出することを特徴とする。

【0040】本発明は、ビタビ復号を行う情報記録再生方法において、過去 N ビット及び未来 Q ビットにおける入力信号パターン x_{k-N}, \dots, x_{k+Q} に依存した過去及び未来の状態に対する雑音の相関値 $e(s_k)$ とその分散 $\sigma(s_k)$ を算出して記憶し、記憶した過去及び未来の状態に対する雑音の相関 $e(s_k)$ とその分散 $\sigma(s_k)$ を使って有色雑音を白色化した過去及び未来の状態に対する白色化雑音値 n_k を求め、過去及び未来の状態に対する白色化した雑音値とその分散 $\sigma(s_k)$ からビタビ復号のブランチメトリック (チャネル信号) $\Lambda c(y_k | s_k)$ を算出する。これ以外の特徴は、装置構成の場合と同じになる。

【0041】更に本発明は、信号復号回路を提供するものであり、現在と過去又は未来における入力信号パターンに依存した現在に対する雑音の分散と雑音の相関を算出する雑音相関演算部と、雑音の相関と分散を記憶する記憶部と、記憶部に記憶した雑音の相関と分散を使って有色雑音を白色化した入力信号パターンに対する白色化雑音値を求める白色化雑音演算部と、白色化した雑音値と白色化した雑音の分散から符号器の入力信号を算出する入力信号演算部とを備えたことを特徴とする。

【0042】また本発明の信号復号回路は、等化後雑音が白色雑音に近くなる等化目標を備えた等化器と、等化器からの入力信号に対し、現在と過去又は未来における入力信号パターンに依存した現時点に対する雑音の分散を算出する雑音相関演算部と、雑音の分散を記憶する記憶部と、記憶部に記憶した分散から復号器の入力信号を算出する入力信号演算部とを備えたことを特徴とする。

【0043】更に本発明の信号復号回路は、等化後雑音が白色雑音に近くなる等化目標を備えた等化器と、等化器からの入力信号に対し、現在と過去又は未来における入力信号パターンに依存した現時点に対する雑音の分散を算出する雑音相関演算部と、雑音の分散を記憶する記憶部と、等化後の入力信号の系列を小さなウィンドウ系列に分割し、ウィンドウ系列の順番に、記憶部に記憶した分散から入力信号 (チャネル信号) を求め、尤度を算出するスライディング・ウィンドウ処理部とを備えたことを特徴とする。の信号復号回路における他の特徴は、情報記録再生装置の場合と同じになる。

【0044】
【発明の実施の形態】図 2 は、本発明が適用されるハードディスクドライブのブロック図である。図 2 において、ハードディスクドライブは、SCSI コントローラ 10、ドライブコントロール 12 及びディスクエンクロージャ 14 で構成される。勿論、ホストとのインタフェースは SCSI コントローラ 10 に限定されず、適宜のインタフェースコントローラが使用できる。

【0045】SCSI コントローラ 10 には、MCU (メインコントロールユニット) 16、制御記憶として使用される DRAM もしくは SRAM を用いたメモリ 18、制御プログラムを格納するフラッシュメモリなどの不揮発性メモリを使用したプログラムメモリ 20、ハードディスクコントローラ (HDC) 22 及びデータバッファ 24 が設けられる。

【0046】ドライブコントロール 12 には、ドライブインタフェースロジック 26、DSP 28、リード/ライト LSI 30 及びサーボドライバ 32 が設けられる。

【0047】更にディスクエンクロージャ 14 にはヘッド IC 36 が設けられ、ヘッド IC 34 に対し記録ヘッドと再生ヘッドを備えた複合ヘッド 36-1 ~ 36-6 を接続している。

【0048】複合ヘッド 36-1 ~ 36-6 は磁気ディ

【0041】更に本発明は、信号復号回路を提供するものであり、現在と過去又は未来における入力信号パターンに依存した現在に対する雑音の分散と雑音の相関を算出する雑音相関演算部と、雑音の相関と分散を記憶する記憶部と、記憶部に記憶した雑音の相関と分散を使って有色雑音を白色化した入力信号パターンに対する白色化雑音値を求める白色化雑音演算部と、白色化した雑音値と白色化した雑音の分散から符号器の入力信号を算出する入力信号演算部とを備えたことを特徴とする。

【0042】また本発明の信号復号回路は、等化後雑音が白色雑音に近くなる等化目標を備えた等化器と、等化器からの入力信号に対し、現在と過去又は未来における入力信号パターンに依存した現時点に対する雑音の分散を算出する雑音相関演算部と、雑音の分散を記憶する記憶部と、記憶部に記憶した分散から復号器の入力信号を算出する入力信号演算部とを備えたことを特徴とする。

【0043】更に本発明の信号復号回路は、等化後雑音が白色雑音に近くなる等化目標を備えた等化器と、等化器からの入力信号に対し、現在と過去又は未来における入力信号パターンに依存した現時点に対する雑音の分散を算出する雑音相関演算部と、雑音の分散を記憶する記憶部と、等化後の入力信号の系列を小さなウィンドウ系列に分割し、ウィンドウ系列の順番に、記憶部に記憶した分散から入力信号 (チャネル信号) を求め、尤度を算出するスライディング・ウィンドウ処理部とを備えたことを特徴とする。の信号復号回路における他の特徴は、情報記録再生装置の場合と同じになる。

【0044】

【発明の実施の形態】図 2 は、本発明が適用されるハードディスクドライブのブロック図である。図 2 において、ハードディスクドライブは、SCSI コントローラ 10、ドライブコントロール 12 及びディスクエンクロージャ 14 で構成される。勿論、ホストとのインタフェースは SCSI コントローラ 10 に限定されず、適宜のインタフェースコントローラが使用できる。

【0045】SCSI コントローラ 10 には、MCU (メインコントロールユニット) 16、制御記憶として使用される DRAM もしくは SRAM を用いたメモリ 18、制御プログラムを格納するフラッシュメモリなどの不揮発性メモリを使用したプログラムメモリ 20、ハードディスクコントローラ (HDC) 22 及びデータバッファ 24 が設けられる。

【0046】ドライブコントロール 12 には、ドライブインタフェースロジック 26、DSP 28、リード/ライト LSI 30 及びサーボドライバ 32 が設けられる。

【0047】更にディスクエンクロージャ 14 にはヘッド IC 36 が設けられ、ヘッド IC 34 に対し記録ヘッドと再生ヘッドを備えた複合ヘッド 36-1 ~ 36-6 を接続している。

【0048】複合ヘッド 36-1 ~ 36-6 は磁気ディ

スク 38-1~38-3 の各記録面に対し設けられ、VCM 40 によるロータリアクチュエータの駆動で磁気ディスク 38-1~38-3 の任意のトラック位置に移動される。磁気ディスク 38-1~38-3 はスピンドルモータ 42 により一定速度で回転される。

【0049】図 3 は、図 2 のリードチャネル 30 の構成であり、反復型復号法を採用している。図 3 において、[0, 1] のバイナリーパターンからなるユーザデータは、誤訂正検出のための CRC (Cyclic redundancy check codes) 符号器 44 に入力された後、エラー訂正のための ECC (Error Correcting Code) 符号器 46 に入力される。

【0050】次に、ECC 符号器 46 の出力結果が PLL (Phase Locked Loop) による再生時のタイミング補正を可能ならしめるための RLL (Run Length Limited) 符号器に入力される。この例では、磁気記録再生チャネルの特性を考慮して連続磁化反転を制限する MTR (Maximum Transition) 符号を採用していることから、RLL/MTR 符号器 48 に入力される。

【0051】ECC/MTR 符号器 48 の出力結果 u_k は、外符号器ユニット 50 の外符号器 52 に入力される。外符号器 52 の出力 x_k は、ヘッド/媒体 56 を介して磁気記録後に再生される。再生されたアナログ信号は、等化器 58 を介して PR4、EPR4、EPR4、MEEP4 等の所望の目標波形となるように信号が整形され、チャネル信号 y_k となる。

【0052】ところで、ヘッド/媒体 56 と等化器 58 からなる磁気記録再生チャネル 54 は、外符号器 52 の出力信号 x_k を磁気記録再生チャネル 54 の出力信号 y_k に変換する符号器とみなすことが可能であり、ここでは内符号器 54 と呼ぶものとする。

【0053】等化器 58 で整形されたアナログ信号 y_k は、外符号器 52 と内符号器 54 に対する復号器である反復型復号器 60 で復号され、RLL/MTR 復号器 62、ECC 復号器 64、CRC 検出器 66 を介して最終的な復号データが得られる。

【0054】図 4 は、図 3 のリードチャネルにおける CRC 符号器 44 から内符号器 54 までの詳細である。ユーザデータは、CRC 符号器 44 により ECC における誤訂正を検出するためのパリティが付加され、ECC 符号器 46 においてリード・ソロモン符号による誤り訂正のためのパリティが付加され、その出力結果が RLL/MTR 符号器 48 に入る。

【0055】RLL/MTR 符号器 48 からの出力信号 u_k はインターリーブ 70 により乱数化され、その系列が外符号器 52 に入力される。ここで、外符号器 52 の出力する外符号は、復号結果として [0, 1] の 2 値判定 (硬判定) の結果 (デジタル値) を出力するのではなく、復号系列が 0 もしくは 1 である確からしさ (信頼性情報) を表す軟判定結果 (アナログ値) を入出力する軟判

定復号器による反復復号を前提とした符号であるターボ符号、低密度パリティ検査符号 (LDPC 等を用いるものとする。

【0056】PUMUX (Puncturing & Multiplexer) 72 は、RLL/MTR 符号器 48 の出力 u_k に対する外符号器 52 の出力 p_k を記録系列 x_k に変換する。ここで、PUMUX 72 は、長さ U_{im} ビットの RLL/MTR 符号器 48 の出力 u_k を、長さ X_{im} ビットの PUMUX 出力 x_k に変換する比を表す符号化率 U_{im}/X_{im} が所望の値となるように、外符号器出力 p_k を適当に間引いた (Puncturing) 後に符号器出力 u_k に加える (Multiplexer)。

【0057】PUMUX 出力 x_k は、ヘッド/媒体 56 で記録再生され、周波数制限によって雑音を抑圧する CT フィルタ (Continuous Time Filter) 78 と、CTF 出力を有限の遅延線とタップによって最終的に波形整形する FIR (Finite Impulse Response) フィルタ 80 を備えた等化器 58 により、再生された波形が所望の信号波形に等化される。

【0058】ここで、FIR フィルタ 80 の出力 y_k は、ヘッド/媒体 56、CT フィルタ 78、及び FIR フィルタ 80 からなる磁気記録再生チャネルを内符号器 54 とみなした場合、PUMUX 72 の出力 x_k に対する内符号系列となる。図 5 は、図 3 の内符号器 54 から CRC 検出器 66 までの詳細である。磁気記録再生チャネルである内符号器 54 により系列 x_k が等化器 80 の出力となる内符号系列 y_k に変換され、磁気記録再生チャネルに対する復号器となる反復型復号器 60 に設けた内符号復号器 86 に送られる。内符号復号器 86 は、この例では、最大事後確率復号を行う MAP 復号器とする。

【0059】ここで、内符号系列 y_k は、磁気記録再生チャネルである内符号器 54 を通過することにより、必然的に信号成分だけでなく雑音成分までも含むこととなり、雑音相関演算部 84 で後の説明で明かにする手法で推定した雑音の相関とその標準偏差 σ の値を、内符号復号器 86 上のメモリ 88 に保持する。

【0060】内符号復号器 86 では最大事後確率アルゴリズム (MAP アルゴリズム) により、内符号系列 y_k 、標準偏差 σ 、及び記録系列 x_k に対する事前情報 $\Lambda(x_k)$ から、磁気記録再生チャネルにおける状態の時間遷移を表すトレリス線図上の各状態における $k-1$ 時点から k 時点への遷移確率である演算ブロック 90 の γ_k 、トレリスの始端から $k-1$ 時点までの各状態にいたる確率である演算ブロック 94) の α_{k-1} 、トレリスの終端から k 時点までの各状態にいたる確率である演算ブロック 95) の β_k 、そして α_{k-1} 、 β_k 、 γ_k の積より計算される各ビットに対する信頼性情報である演算ブロック 96) の $\Lambda(x_k)$ を算出する。

【0061】演算ブロック 96) の信頼性情報 $\Lambda(x_k)$ から

事前情報を $\Lambda_a(x_k)$ を演算ブロック 98 で減じることにより外部情報 $\Lambda_e(x_k)$ を計算し、これが出力となる。出力された外部情報 $\Lambda_e(x_k)$ は、図 4 の PUMUX 72 の逆操作を行う DE-PUMUX 100、インターリーバ 102 を経て、RLL/MTR 符号器出力系列 u_k に対する事前情報 $\Lambda_e(u_k)$ として外符号復号器 104 に入力される。

【0062】外符号器 104 で外符号を復号した後、適当な反復終了条件を満たしていなければ、RLL/MTR 符号器出力系列 u_k に対する外部情報 $\Lambda_e(u_k)$ を、図 4

【0063】反復復号器 60 は、このように複数の復号器間で信頼性情報を反復して計算することにより、復号の精度を高める。尚、反復型復号器については、論文「Z. Wu, "Coding and Iterative Detection for Magnetic Recording Channels," Kluwer Academic Publishers, 2000.」がある。

【0064】反復型復号器 60 における反復計算の過程で、外符号復号器 104 において適当な反復終了条件を満たしていれば、RLL/MTR 符号器出力系列 u_k に対する信頼性情報 $\Lambda(u_k)$ が硬判定ブロック 110 に送ら

＊れ、[0, 1] の 2 値判定される。

【0065】2 値判定された結果は、RLL/MTR 復号器 62 に送られる。その復号結果に対し ECC 復号器 64 によりエラー訂正が行われ、最終的に CRC 検出器 66 により誤訂正の検査がされてからユーザデータが得られる。

【0066】次に、図 5 の磁気記録再生チャネルに対する MAP 復号器となる内符号復号器 86 で行われる BCRJ 復号法 (Bahj-Cocke-Jeinek-Raviv 復号法) の手順について説明する。記録系列 x_k に対する図 5 の内符号復号器 54 である磁気記録再生チャネルが PR チャネル、例えば PR 4 チャネルとなっているものとする。この PR 4 チャネルの各状態を図 6 のように定めるものとする、各状態における時間に対する推移を表す状態推移図は図 7 のように表せる。

【0067】ここで、PR 4 チャネルにおける雑音 n_k が平均値が 0、分散が σ^2 のガウス分布であると仮定し、 $k-1$ 時点の状態から k 時点の状態へ遷移するときの理想等化値を $d_{[k-1 \rightarrow k]}$ と表すと、雑音 n_k の確率密度関数は次式となる。

【0068】

【数 1】

$$p(n_k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{n_k^2}{2\sigma^2}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(y_k - d_{[s_{k-1} \rightarrow s_k]})^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

【0069】この式(1)の両辺に $(2\pi)^{1/2} \sigma$ を乗じ、その自然対数をとることによって、チャネル情報は次式のようにになる。

$$\Lambda_c(y_k) = -\frac{(y_k - d_{[s_{k-1} \rightarrow s_k]})^2}{2\sigma^2} \quad (2)$$

【0071】チャネル情報 $\Lambda_c(x_k)$ と記録系列 x_k に対する事前情報 $\Lambda_e(x_k)$ から PR 4 チャネルに対する最大事後確率復号は図 7 のように行われる。ここで、 $\gamma_k(s_{k-1}, s_k)$ は k 時点における各状態に $k-1$ 時点の各状態から遷移する確率、 $\alpha_{k-1}(s_{k-1})$ は $k-1$ 時点における各状態★

※【0070】

【数 2】

★にトレリスの始端から至る確率、 $\beta_k(s_k)$ は k 時点における各状態にトレリスの終端から溯って至る確率であり、それぞれ式(3)～(5)で表すことができる。

【0072】

【数 3】

$$\gamma_k(s_{k-1}, s_k) = \exp\{x_k \Lambda_a(x_k)\} \exp\{\Lambda_c(y_k)\} \quad (3)$$

$$\alpha_k(s_k) = \sum_{s_{k-1}} \alpha_{k-1}(s_{k-1}) \gamma_k(s_{k-1}, s_k) \quad (4)$$

$$\beta_{k-1}(s_{k-1}) = \sum_{s_k} \beta_k(s_k) \gamma_k(s_{k-1}, s_k) \quad (5)$$

【0073】ただし、初期状態と終了状態を状態 s_0 と仮定すると、終端条件は以下の通りである。

【0074】

【数 4】

$$\alpha_0(s_0) = \begin{cases} 1, & \text{if } s_0 = S_0 \\ 0, & \text{if } s_0 \neq S_0 \end{cases} \quad \beta_N(s_N) = \begin{cases} 1, & \text{if } s_N = S_0 \\ 0, & \text{if } s_N \neq S_0 \end{cases} \quad (6)$$

【0075】ここで、k時点における x_k が“1”となる事後確率と“0”となる事後確率の比の自然対数(対数尤度比)で表される信頼性情報 $\Lambda(x_k)$ は次式となる。

$$\Lambda(x_k) = \ln \frac{\sum_{(s_{k-1}, s_k), x_k=1} \alpha_{k-1}(s_{k-1}) \gamma_k(s_{k-1}, s_k) \beta_k(s_k)}{\sum_{(s_{k-1}, s_k), x_k=0} \alpha_{k-1}(s_{k-1}) \gamma_k(s_{k-1}, s_k) \beta_k(s_k)} \quad (7)$$

【0077】ただし、 (s_{k-1}, s_k) , $x_k=1$ は $x_k=1$ に関連付けられた全ての状態遷移を、 (s_{k-1}, s_k) , $x_k=0$ は $x_k=0$ に関連付けられた全ての状態遷移を意味する。そして、式(7)から、図5の演算ブロック98のようにして、事前情報 $\Lambda_a(x_k)$ を差し引くことで外部情報 $\Lambda_e(x_k)$ を得る。図5※

$$\Lambda_e(x_k) = \Lambda(x_k) - \Lambda_a(x_k) \quad (8)$$

※の内符号復号器86は、この外部情報 $\Lambda_e(x_k)$ を出力とする。

【0078】
【数6】

【0079】図9は、BCJR復号アルゴリズムにおける計算の手順をまとめたフローチャートである。まずステップS1で(2)(3)式に基づいて $\gamma(s_{k-1}, s_k)$ を算出する。次に、ステップS2で(4)式に基づき $\alpha_k(s)$ を求め、ステップS3で(5)式に基づいて $\beta_k(s_k)$ を求める。最後にステップS4で(7)(8)式に基づいて $\Lambda(x_k)$ 、 $\Lambda_e(x_k)$ を得る。

$$\gamma_k(s_{k-1}, s_k) = x_k \Lambda_a(x_k) + \Lambda_e(x_k) \quad (9)$$

$$\alpha_k(s_k) = \max_{s_{k-1}} [\alpha_{k-1}(s_{k-1}) + \gamma_k(s_{k-1}, s_k)] \quad (10)$$

$$\beta_{k-1}(s_{k-1}) = \max_{s_k} [\beta_k(s_k) + \gamma_k(s_{k-1}, s_k)] \quad (11)$$

$$\alpha_0(s_0) = \begin{cases} 0, & \text{if } s_0 = S_0 \\ -\infty, & \text{if } s_0 \neq S_0 \end{cases} \quad \beta_N(s_N) = \begin{cases} 0, & \text{if } s_N = S_0 \\ -\infty, & \text{if } s_N \neq S_0 \end{cases} \quad (12)$$

$$\Lambda(x_k) = \max_{(s_{k-1}, s_k), x_k=1} [\alpha_{k-1}(s_{k-1}) + \gamma_k(s_{k-1}, s_k) + \beta_k(s_k)] - \max_{(s_{k-1}, s_k), x_k=0} [\alpha_{k-1}(s_{k-1}) + \gamma_k(s_{k-1}, s_k) + \beta_k(s_k)] \quad (13)$$

【0082】ただし、☆【数8】

$$\max^*(a, b) = \max(a, b) + \ln\{1 + \exp(-|b - a|)\} \quad (14)$$

【0084】である。さらに、(14)式を、◆【数9】

$$\max^*(a, b) \approx \max(a, b) \quad (15)$$

【0086】と近似し計算量を一層削減するMax-LogMAP復号法も提案されている。

【0087】また、SOVA (Soft Output Viterbi Algorithm) 復号法においても同様である。SOVA復号法は、ビタビ復号法を軟出力を行うように拡張したものであり、原理的にはBCJR復号法と同じ軟入力軟出力

★【0080】なお、計算量を減らすため、BCJR復号法を対数領域で計算するLogMAP復号法も提案されている。LogMAP復号法では、(3)~(7)式が以下の(9)~(13)式に置き替わるが、計算の手順は同様である。

【0081】
【数7】

のSISO復号法である。

【0088】BCJR復号法とSOVA復号法の違いは、BCJR復号法が全ての可能なパス(状態遷移の系列)を考えて事後確率を求めるのに対し、SOVA復号法は一部のパスだけから事後確率を求める点にある。そのため、SOVA復号法は、BCJR復号法より性能は

劣るものの、計算量は少ない。

【0089】またパスの選び方は異なるが、原理的に同じSISO復号法であることから、各状態遷移に対するパスメトリックの計算はBCJR復号法と同じ(3)

(4)式あるいは(9)(10)式に基づいている。従って、本発明による(25)(26)式をそのまま適用することができる。

【0090】なお、SOVA復号法については、論文「J. Hagenauer and P. Hoeher, "Aviterbi algorithm with soft-decision outputs and its applications", IEEE Globecom, pp. 1680-86, 1989.」などがある。

【0091】式(2)~(8)の計算を行う従来の最大事後確率復号器は、チャネル雑音 n_k を式(1)で示されるような、雑音間に相関のない白色雑音を前提にして構成されており、雑音間に相関のある実際のチャネルに適用しても十分な性能が得られなかった。

【0092】また、従来の最大事後確率復号器は、記録密度の増大に伴いますます無視できなくなる、媒体上の記録信号パターンに依存したPE (Partial Erasure) やNLTS (Non Linear Transition Shift)等の非線形要因による影響を考慮しておらず、今後の磁気記録装置における記録密度増大に対処するには、はなはだ不十分であった。

$$n_k = y_k - d(s_k^m)$$

【0097】ここで、 s_k^m はk時点における図10から定まる状態である。また装置の簡略化のため、 $d(s_k^m)$ の代わりに、状態 s_k^m に対する理想等化波形を用いてもよい。

【0098】図11は、雑音モデルの説明図である。式(16)から求めた図11(A)の等化器54における出力雑音 n_k が、図11(B)のように、周波数スペクトル118のように周波数依存性を持った有色雑音であり、図11(C)の時間軸上では、過去Lビット、未来Mビット※

$$n_k = w_k + \sum_{i=-L}^{-1} e_i(s_k^m) n_{k-i} + \sum_{i=1}^M e_i(s_k^m) n_{k-i} \quad (17)$$

【0101】ここに、 $e_{-L}(s_k^m) \sim e_1(s_k^m)$ は記録状態 s_k^m に依存した過去Lビットの雑音の現時点に対する重み、 $e_1(s_k^m) \sim e_M(s_k^m)$ は記録状態 s_k^m に依存した未来Mビットの雑音の現時点に対する重み、 w_k は現時点に加わる白色ガウス雑音である。

$$\sigma^2(s_k^m) = \left\langle \left(n_k - \sum_{i=-L}^{-1} e_i(s_k^m) n_{k-i} - \sum_{i=1}^M e_i(s_k^m) n_{k-i} \right)^2 \right\rangle \quad (18)$$

【0104】が最小となる値を求めれば良い。但し、 $\langle \rangle$ は期待値を表している。

【0105】従って、状態 s_k^m に対する n_k の自己相関関数の期待値を $R_{nn}(j | s_k^m) = \langle n_k n_{k-j} | s_k^m \rangle$ 、 $-L \leq j \leq M$ とすると、最小二乗法より、

*【0093】そこで、本発明の第1実施形態では、媒体上の記録信号パターンに依存したPEやNLTS等の非線形要因による性能劣化に対応するため、過去Nビット、未来Qビットの2値記録信号 $x_{k-N}, \dots, x_k, \dots, x_{k+Q}$ に対する 2^{N+Q+1} 個の状態 $s_0^m \sim s_{2^{N+Q+1}-1}^m$ を図10のテーブルのように定め、信号、雑音パラメータに対してこの記録信号状態依存性を持たせるものとする。

【0094】そして、状態 $s_0^m \sim s_{2^{N+Q+1}-1}^m$ に対する本発明における等化後波形 y_k の平均値 $d(s_0^m) \sim d(s_{2^{N+Q+1}-1}^m)$ を、トレーニング系列を使用して図5の雑音相関演算部84により図10のように求める。このトレーニング系列を使用した雑音相関の演算は、図4及び図5のトレーニング系列発生器74、セクタ76、82、トレーニング計算器84により実現され、この点では後の説明で明らかにする。また、図10において、 $N=0$ とすることで未来のみ、 $Q=0$ とすることで過去のみ、の記録信号依存性を考慮することによって、トレーニング回数、平均値計算時間、図10の記録信号状態依存性を格納するメモリを削減できる。

【0095】この第1実施形態では、次式によってk時点における等化器出力雑音 n_k を導出するものとする。

【0096】

【数10】

(16)

※トの雑音と相関のあるガウスマルコフ (Gauss-Markov) 系列の自己相関122を持つとする。なお、白色ガウス雑音については破線の周波数スペクトル120と自己相関124を持つ。

【0099】この時、出力雑音 n_k は次式のようになる。

【0100】

【数11】

★【0102】 w_k は $n_{k-L}, \dots, n_{k-1}, n_{k+1}, \dots, n_{k+Q}$ と無相関なので、 $e_{-L}(s_k^m), \dots, e_{-1}(s_k^m), e_1(s_k^m), \dots, e_M(s_k^m)$ としては w_k の分散

【0103】

★【数12】

【0106】

【数13】

$$\left\langle n_{k-j} \left(n_k - \sum_{i=-L}^M e_i(s_k^m) n_{k-i} \right) \right\rangle = R_m(j | s_k^m) - \sum_{i=-L}^M e_i(s_k^m) R_m(j-i | s_k^m) = 0 \quad (-M \leq j \leq L, i \neq 0, j \neq 0) \quad (19)$$

【0107】が成立すればよい。

* (s_k^m) を

【0108】よって、 n_k の $(L+M+1) \times (L+M+1)$ 共分散行列

【0109】

を $R_{i,j}(s_k^m) = [R_m(j-i | s_k^m)]$, $1 \leq i, j \leq L+M+1$ と

【数14】

したとき、その $L+1$ 行、 $L+1$ 列成分を除いた行列 $R \setminus$ *

$$R_{L+1}(s_k^m) = \begin{bmatrix} R_{i,j}(1 \leq i \leq L, 1 \leq j \leq L) (s_k^m) & R_{i,j}(1 \leq i \leq L, L+2 \leq j \leq L+M+1) (s_k^m) \\ R_{i,j}(L+2 \leq i \leq L+M+1, 1 \leq j \leq L) (s_k^m) & R_{i,j}(L+2 \leq i \leq L+M+1, L+2 \leq j \leq L+M+1) (s_k^m) \end{bmatrix} \quad (20)$$

【0110】とし、 $e(s_k^m) = \{e_{-L}(s_k^m), \dots, e_{-1}(s_k^m), e_1(s_k^m), \dots, e_M(s_k^m)\}$ 、 $r(s_k^m) = \{R_m(-L | s_k^m), \dots, R_m(-1 | s_k^m), R_m(1 | s_k^m), \dots, R_m(M | s_k^m)\}$

$\{s_k^m\}^T$ とおくと、

【0111】

【数15】

$$e(s_k^m) = R_{L+1}^{-1}(s_k^m) r(s_k^m) \quad (21)$$

【0112】により $e(s_k^m)$ が求まる。このときの白色ガウス雑音 w_k の分散 $\sigma^2(s_k^m)$ は

★ 【0113】

★ 【数16】

$$\sigma^2(s_k^m) = R_m(0 | s_k^m) - r^T(s_k^m) R_{L+1}^{-1}(s_k^m) r(s_k^m) \quad (22)$$

【0114】となる。

☆ $\Lambda_c(s_k)$ の計算において図12のテーブルを用いることで、記録信号依存型の雑音予測最大事後確率復号 (NP MAP) が実現できる。

【0115】この第1実施形態では、復号の精度を高めるため、式(2)のチャネル情報の計算において、記録パターンに依存した過去及び未来の雑音に対する相関を導入した雑音予測最大事後確率復号法 (NP MAP 復号法 (Noise Predictive Maximum A posteriori Probability)) を行う。

【0117】ここで最大事後確率復号器 (MAP 復号器) の入力雑音が過去 L ビット、未来 M ビットの雑音と相関のあるマルコフ系列であると仮定すれば、相関のない白色雑音を前提とした式(1)に対して、その確率密度関数は次式となる。

【0118】

【数17】

【0116】式(21)、(22)より求まる $e(s_k^m)$ 、 $\sigma(s_k^m)$ は、図12のテーブルに示す媒体上の信号の状態に対する雑音の相関及び標準偏差のように、図10の状態 s_k に依存しているものとする、チャネル情報 ☆

$$p(n_k | n_{k-L}, \dots, n_{k-1}, n_{k+1}, \dots, n_{k+M}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma(s_k^m)} \exp \left(- \frac{\left(n_k - \sum_{i=-L}^{-1} e_i(s_k^m) n_{k-i} - \sum_{i=1}^M e_i(s_k^m) n_{k+i} \right)^2}{2\sigma^2(s_k^m)} \right) \quad (23)$$

【0119】式(23)の両辺に $(2\pi)^{1/2}$ を乗じ、その自然対数をとることによって、最大事後確率復号 (MAP 復号) における記録信号に依存したチャネル情報 Λ_c ◆

◆ $(y_k | s_k^m)$ が得られる。

【0120】

【数18】

$$\Lambda_c(y_k | s_k^m) = -\ln \sigma(s_k^m) - \frac{\left(n_k - \sum_{i=-L}^{-1} e_i(s_k^m) n_{k-i} - \sum_{i=1}^M e_i(s_k^m) n_{k+i} \right)^2}{2\sigma^2(s_k^m)} \quad (24)$$

【0121】式(24)を計算するためには、過去 L ビットおよび未来 M ビットの雑音を推定する必要がある。そこで、PRチャネルの状態 s_{k-1} から状態 s_k へ遷移するパスを通過する区間 $k-L-1 \sim k+M$ の全てのパスメトリックを計算し、その値が最小となるパスを求める。

ら s_{k-1} へ遷移するパスを通過する区間 $k-3 \sim k+2$ の全てのパスメトリックを計算し、その値が最小となるパスを求めた具体例である。

【0122】図13はPR4チャネルで、過去 L ビット = 2 ビット、未来 M ビット = 2 ビットとして、状態 s_0 か

【0123】そして、最短パスに相当する等化波形の平均値 $d(s_{k+1}^m) \sim d(s_{k+M}^m)$ を図12から求め、式(16)より等化後雑音 n_k を推定するものとする。よって、式(24)は次式となる。

【0124】

* * 【数19】

$$\Lambda_c(y_k | s_k^m) = -\ln \sigma(s_k^m) - \frac{\left(y_k - d(s_k^m) - \sum_{i=1}^L e_i(s_k^m)(y_{k+i} - d(s_{k+i}^m)) - \sum_{i=1}^M e_i(s_k^m)(y_{k-i} - d(s_{k-i}^m)) \right)^2}{2\sigma^2(s_k^m)} \quad (25)$$

【0125】図14は、PR4チャネルで、過去Lビット=2ビット、未来Mビット=2ビットとしてとした場合の雑音予測最大事後確率復号(NPMAP)における式(25)による状態のチャネル情報 $\Lambda_c(y_k | s_k^m)$ の具体的な計算例である。

【0126】この式(25)によるチャネル情報の演算は、図5の演算ブロック90に内蔵している白色化雑音演算部91と入力信号演算部92で行う。即ち、白色化雑音演算部91は、記憶部88に記憶した図12のテーブルの雑音の相関 $e(s_k^m)$ とその分散 $\sigma(s_k^m)$ を使って、図11(B)の周波数スペクトル118を持つ有色雑音を、周波数スペクトル120の白色化した過去及び未来の状態に対する白色化雑音値を求める。

【0127】そして、入力信号演算部92が、過去及び未来の状態に対する白色化した雑音値とその分散 $\sigma(s_k^m)$ から式(25)のチャネル情報 $\Lambda_c(y_k | s_k^m)$ を算出し、その後、このチャネルから最大事後確率復号(MAP復号)における尤度を求める。

【0128】ここで、式(25)における $d(s_{k+L+1}^m) \sim d(s_{k+M}^m)$ を推定する方法としては、図13のような最短パス選択方式ではなく、図8の最大事後確率復号(MAP復号)における α, β である式(4), (5)もしくは式(10), (11)を用いてもよいし、適当な回数繰り返して復号を行った復号結果を用いてもよい。

【0129】また装置を簡略化するため、 $d(s_{k+L+1}^m) \sim d(s_{k+M}^m)$ の代わりに状態 s_k^m に対する理想等化波形を用いてもよいし、式(25)の右辺の第一項を省略してもよい。

【0130】また、 $L=0$ とすることで未来のみ、 $M=0$ とすることで過去のみの雑音相関を考慮することで、トレーニング回数、雑音パラメータ計算時間、図12の信号状態に対する雑音パラメータのテーブルを格納するメモリを削減できる。

【0131】式(25)から求まるチャネル情報 $\Lambda_c(y_k)$ を用いて式(3)~(7)、対数領域で計算するときには式(9)~(13)に適用することで最大事後確率復号(MAP復号)を実施できる。

【0132】図15は、第1実施形態におけるトレーニング信号の記録再生による、信号状態に対する雑音パラメータ取得のためのトレーニング機能を示す。

【0133】トレーニング系列の記録再生中は、CRC※

※符号器44からPUMUX72に至る系列による符号化は行われず、セクタ76の切替えによりトレーニング系列生成器74から生成されたランダムなトレーニング系列をヘッド/媒体56により記録再生し、CTフィルタ78及びFIRフィルタ80からなる等化器58により所望の等化波形に整形する。

【0134】等化器58からの等化波形は、セクタ82の切替により雑音相関演算部84に与えられ、等化波形の平均値から図10における等化後波形の平均値 $d(s_k^m)$ のテーブルを作成し、この平均値 $d(s_k^m)$ から、式(16)~(22)より $e(s_k^m)$ 、 $\sigma(s_k^m)$ を計算して図12の信号状態に対する雑音パラメータのテーブルを完成させ、スイッチ85を閉じることで、図10及び図12のテーブルをメモリ88に保存する。

【0135】図16は、トレーニング終了後のデータ系列の記録再生状態である。このデータ系列の記録再生中は、セクタ76によりトレーニング系列生成器74は切り離され、ユーザデータ系列に対してCRC符号器44からPUMUX72に至る過程で符号化が施され、ヘッド/媒体54により記録再生し、CTフィルタ78及びFIRフィルタ80からなる等化器58により所望の等化波形に整形される。

【0136】再生過程では、セクタ82により雑音相関演算部84は切り離され、等化波形は反復型復号器60に送られる。そして、反復型復号器60の初段にあたる内符号復号器86(磁気記録再生チャネルに対するMAP復号器)で、図5のPUMUX108の出力である事前情報 $\Lambda_c(x_k)$ と、メモリ88に保存されている図10及び図12のテーブルを参照して式(25)によりチャネル情報を求めた後、最大事後確率復号(MAP復号)を行う。

【0137】次に本発明の第2実施形態を説明する。本発明の第1実施形態にあつては、図11の周波数スペクトル118および自己相関122のように、等化後雑音を相関のある有色雑音としてモデル化していたが、等化後雑音が相関のない白色雑音に近くなるような等化目標をもつ等化器58を選択することで、等化後雑音を白色雑音にモデル化できる。この時、PRチャネル情報情報 $\Lambda_c(y_k | s_k^m)$ は次式となる。

【0138】

【数20】

$$\Lambda_c(y_k | s_k^m) = -\ln \sigma(s_k^m) - \frac{(y_k - d(s_k^m))^2}{2\sigma^2(s_k^m)} \quad (26)$$

【0139】式(26)から求まるチャネル情報 $\Lambda_c(y_k)$ を用いて式(3)~(7)、或いは対数領域で計算するとき

は式(9)～(13)に適用することで、最大事後確率復号(MAP復号)を実現できる。

【0140】この第2実施形態では、雑音パラメータが記録信号に依存した標準偏差 $\sigma(s_k)$ だけとなり、式(25)と比較して、過去Lビット、未来Mビットの信号 $d(s_{k-L}) \sim d(s_{k+M})$ を推定する必要がないため、計算量が大幅に低減し、大幅な装置の高速化が可能となる。

【0141】また、装置のメモリに保持しなければならない雑音パラメータも記録信号に依存した標準偏差 $\sigma(s_k)$ だけとなるので、メモリ削減が可能である。

【0142】更に第2実施形態にあっては、式(26)において、 $d(s_{k-L}) \sim d(s_{k+M})$ の代わりに状態 s_k に対する理想等化波形を用いてもよいし、右辺の第一項を省略してもよく、これによって更に装置を簡略化できる。

【0143】次に本発明の第3実施形態を説明する。第2実施形態において、記録信号に依存した標準偏差を用いた最大事後確率復号(MAP復号)を実施する場合、スライディング・ウィンドウ法(Sliding Window法)を採用することにより装置メモリの削減が実現できる。

【0144】スライディング・ウィンドウ法では、図5の内符号復号器86において、まず、系列長 N_u の受信系列 y_k を系列長 N_u の小さな系列、即ちウィンドウ(Window)に分割する。この分割した系列長 N_u の系列に対する信頼性情報を、式(26)、(3)～(7)に従ってそれぞれ計算することにより、最大事後確率復号器(MAP復号器)における $\alpha(x_k)$ 、 $\beta(x_k)$ 、 $\gamma(x_k)$ 、 $\Lambda(x_k)$ 、即ち図5の演算ブロック90、94、95、96のを格納するメモリを削減でき、また復号遅延を短くすることができる。

【0145】ここで、分割した系列長 N_u のウィンドウのすぐ後につづく系列長 N_u の系列を、式(5)の β の計算を信頼できるものとするためのトレーニング系列として利用する。また分割されたウィンドウ数は

【0146】

【数21】

$$N_{wind} = \lfloor (N_s - N_t) / N_u \rfloor$$

【0147】となる。

【0148】図17は、スライディング・ウィンドウ法を具体的に説明する。まず、1番目のウィンドウ132-1において、系列 y_1, \dots, y_{N_u} に対する信頼性情報 $\Lambda_1, \dots, \Lambda_{N_u}$ を、式(26)、(3)～(7)から求める。但し、 β_{N_u} の計算にはトレーニング系列 $y_{N_u+1}, \dots, y_{N_u+N_t}$ を用いる。

【0149】i番目のウィンドウ132-iにおいて、同様に、トレーニング系列 $y_{iN_u+1}, \dots, y_{iN_u+N_t}$ を用いて β_{iN_u} を計算し、信頼性情報 $\Lambda_{(i-1)N_u+1}, \dots, \Lambda_{iN_u}$ を求める。3)最後の N_{wind} 番目のウィンドウ132-Nでは、系列 $y_{(N_{wind}-1)N_u+1}, \dots, y_N$ を用いて、式(26)、(3)～(7)から信頼性情報 $\Lambda_{(N_{wind}-1)N_u+1}, \dots, \Lambda_N$ を求める。

…、 Λ_N を求める。

【0150】この第3実施形態におけるスライディング・ウィンドウ法を適用して信頼性情報を算出する場合の詳細は、図18のフローチャートのようにになる。即ち、ステップS1で入力系列を小さな系列であるウィンドウに分割し、ステップS2でウィンドウ番号を1にセットした後、ウィンドウ番号が $N_{wind} - 1$ に達するまでステップS3～S8を繰り返して信頼性情報を求める。そしてステップS3でウィンドウ番号が N_{wind} に達したら、ステップS9～S12により信頼性情報を求める。

【0151】なお、スライディング・ウィンドウ法については、論文「S. Benedetto, D. Divsalar, G. Montorsi, and F. Pollara, "Soft-output decoding algorithms for iterative decoding of turbo codes," JPL TDA Progress Report, vol. 42-124, Feb. 15, 1996.」や、論文「MAP decoder for convolutional codes," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 16, pp. 260-264, Feb. 1998.」などがある。

【0152】次に本発明の第4実施形態を説明する。本発明の第4実施形態は、図13のような最短パス選択方式を採用することにより、ビタビ復号においても、過去だけでなく未来の雑音に対する相関を取り入れた雑音予測最尤復号法(NPML; Noise Predictive Maximum Likelihood)を実現する。この雑音最尤復号法NPMLにおけるブランチメトリック計算式は、式(25)と同じになる。

【0153】即ち、第4実施形態は、ビタビ復号を行う情報記録再生装置において、過去及び未来における入力信号パターンに依存した過去及び未来の状態に対する雑音の相関とその分散を算出する雑音相関演算部と、過去及び未来の状態に対する雑音の相関とその分散を記憶する記憶部と、記憶部に記憶した過去及び未来の状態に対する雑音の相関とその分散を使って有色雑音を白色化した過去及び未来の状態に対する白色化雑音値を求める白色化雑音演算部と、過去及び未来の状態に対する白色化した雑音値とその分散からビタビ復号の入力信号を算出して入力信号算出部とを備えることになる。

【0154】次に本発明の第5実施形態を説明する。本発明の第1実施形態で、RLT符号としてMTR符号(Maximum Transition Run)を採用したとき、MTR符号の拘束条件やパースナルレスポンスPRによっては、図6、図10、図12における状態の消失やトレリス上のパスが制限される場合がある。そこで第5実施形態にあっては、状態の消失やトレリス上のパスが制限を考慮し、効率のよい $d(s_k)$ 、 $e(s_k)$ 、 $\sigma(s_k)$ のトレーニングを行い、効率のよい復号を行う。

【0155】図19は、4連続以上の磁化反転を禁止した16/17 MTR符号にEPR4を適用した場合のPRチャネルにおける状態であり、過去Lビット=3、未来Qビット=0としている。

【0156】この場合、MTR符号の拘束条件により、NRZ符号で“0101”及び“1010”に相当する状態が存在しない。また、図20はEPR4の状態遷移であり、状態遷移するパスは拘束条件がない場合は32本であるのに対し、拘束条件がある場合は点線の6本のパスが消失することで26本に減らすことができる。そのため図5の内符号復号器86で必要とするメモリ及び計算量を少なくすることができる。

【0157】更に図21のように、第5実施形態あつては、雑音予測最大事後確率復号(NPMAP)で使用する状態に対する等化信号の平均値 $d(s_k)$ 、雑音の相関 $e(s_k)$ 、雑音の標準偏差 $\sigma(s_k)$ に対するテーブルも同じく減らすことができるので、反復型復号器60で必要とするメモリ及び計算量を少なくことができ、加えて、図21のパラメータを計算するトレーニングも簡略化できる。

【0158】本発明の第6実施形態は、状態に対する等化信号の平均値 $d(s_k)$ 、雑音の相関 $e(s_k)$ 、雑音の標準偏差 $\sigma(s_k)$ を、トラック幅方向に対して任意のオフトラック間隔で保持し、セクタ先頭のプリアンプルの振幅値の変化からオフトラック量を検知し、オフトラック量に応じた雑音の相関 $e(s_k)$ 、雑音の標準偏差 $\sigma(s_k)$ を適用して雑音予測最大事後確率復号(NPMAP)を行う。

【0159】具体的には、プリアンプルの振幅値が低下してオフトラック量が増加したら、オフトラック量に応じて状態に対する等化信号の平均値 $d(s_k)$ を減少させ、雑音の相関 $e(s_k)$ と雑音の標準偏差 $\sigma(s_k)$ は増加させる。このため再生ヘッドがオフトラックした場合でも精度の高い復号ができる。

【0160】本発明の第7実施形態は、状態に対する等化信号の平均値 $d(s_k)$ 、雑音の相関 $e(s_k)$ 、雑音の標準偏差 $\sigma(s_k)$ を、ディスク媒体のゾーン毎、シリンダ毎或いはセクタ毎に記憶して、それぞれの復号に適用する。このため、媒体位置に応じて正確な復号ができる。

【0161】本発明の第8実施形態は、状態に対する等化信号の平均値 $d(s_k)$ 、雑音の相関 $e(s_k)$ 、雑音の標準偏差 $\sigma(s_k)$ を求めるためのトレーニング系列を記録再生する専用のトレーニングセクタ或いはトレーニングシリンダを設けることにより、トレーニング効率を向上させる。

【0162】本発明の第9実施形態は、一度計算した状態に対する等化信号の平均値 $d(s_k)$ 、雑音の相関 $e(s_k)$ 、雑音の標準偏差 $\sigma(s_k)$ を、各セクタのプリアンプルの振幅値を用いてオフトラックの場合と同様にして補正することで、より精度の高い復号ができる。

【0163】本発明の第10実施形態は、状態に対する等化信号の平均値 $d(s_k)$ 、雑音の相関 $e(s_k)$ 、雑音の標準偏差 $\sigma(s_k)$ を、装置内温度の変動時、装置起動からの経過時間、エラー発生時などのある特定のタイミング

でトレーニング系列を使用して再計算して記憶し、これを復号に適用することで、時間的な劣化に対応した耐久性の高い装置が実現できる。なお、本発明は、上記の実施形態に限定されず、その目的と利点を損なうことのない適宜の変形を含む。また本発明は上記の実施形態に記載された数値による限定は受けない。

【0164】(付記1)情報記録再生装置において、現在と過去又は未来における入力信号パターンに依存した現在に対する雑音の分散と雑音の相関を算出する雑音相関演算部と、前記雑音の相関と前記分散を記憶する記憶部と、前記記憶部に記憶した雑音の相関と分散を使って有色雑音を白色化した前記入力信号パターンに対する白色化雑音値を求める白色化雑音演算部と、前記白色化した雑音値と白色化した雑音の分散から符号器の入力信号を算出する入力信号演算部と、を備えたことを特徴とする情報記録再生装置。(1)

【0165】(付記2)情報記録再生装置において、等化後雑音が白色雑音に近くなる等化目標を備えた等化器と、前記等化器からの入力信号に対し、現在と過去又は未来における入力信号パターンに依存した現時点に対する雑音の分散を算出する雑音相関演算部と、前記雑音の分散を記憶する記憶部と、前記記憶部に記憶した分散から復号器の入力信号を算出する入力信号演算部と、を備えたことを特徴とする情報記録再生装置。(2)

【0166】(付記3)情報記録再生装置において、等化後雑音が白色雑音に近くなる等化目標を備えた等化器と、前記等化器からの入力信号に対し、現在と過去又は未来における入力信号パターンに依存した現時点に対する雑音の分散を算出する雑音相関演算部と、前記雑音の分散を記憶する記憶部と、等化後の入力信号の系列を小さなウィンドウ系列に分割し、ウィンドウ系列の順番に、前記記憶部に記憶した分散から入力信号(チャネル信号)の尤度を算出するスライディング・ウィンドウ処理部と、を備えたことを特徴とする情報記録再生装置。

(3)

【0167】(付記4)付記1乃至3のいずれかに記載の情報記録再生装置において、反復方復号根最大事後確率復号又はビタビ復号を行うことを特徴とする情報記録再生装置。

【0168】(付記5)付記1記載の情報記録再生装置において、前記白色化雑音演算部は、過去及び未来における現在の一つ前の状態から現在の状態へ遷移するパスを通過する過去及び未来の区間の全てのパスの内、パスメトリックが最小となる最短パスの等化波形平均値を求めて白色化した等化雑音値を推定することを特徴とする情報記録再生装置。

【0169】(付記6)付記1乃至5のいずれかに記載の情報記録再生装置において、前記雑音相関演算部は、過去のみ又は未来のみの入力信号パターンを対象とすることを特徴とする情報記録再生装置。

【0170】（付記7）付記1乃至6のいずれかに記載の情報記録再生装置において、前記雑音相関演算部は、入力信号パターンに対する等化信号の平均値を求め、等化波形と前記平均値との差により入力信号パターンに依存した雑音の相関とその分散を求めることを特徴とする情報記録再生装置。

【0171】（付記8）付記1乃至7のいずれかに記載の情報記録再生装置において、前記雑音相関演算部は、MTR拘束等の拘束条件付き符号を磁気記録して再生する場合、拘束を掛けないランダムな入力信号を使用した
10 トレーニングにより、入力信号パターンに依存した雑音の相関とその分散を求めることを特徴とする情報記録再生装置。

【0172】（付記9）付記1乃至8のいずれかに記載の情報記録再生装置において、前記雑音相関演算部は、前記記憶部に、前記雑音の相関と分散をトラック幅方向に対する再生ヘッドの所定のオフトラック間隔で記憶し、媒体プリアンプ部の振幅値の変化からオフトラック量を検知し、該オフトラック量に応じた雑音の相関と分散を前記記憶部から読み出して復号に使用する
20 ことを特徴とする情報記録再生装置。

【0173】（付記10）付記1乃至9のいずれかに記載の情報記録再生装置において、前記雑音相関演算部は、前記記憶部に、雑音の相関と分散をゾーン毎、シリンダ毎、あるいはセクタ毎に記憶して、それぞれの復号に使用することを特徴とする情報記録再生装置。

【0174】（付記11）付記1乃至10のいずれかに記載の情報記録再生装置において、前記雑音相関演算部は、媒体のトレーニングセクタ又はトレーニングシリンダに記録したトレーニング系列の再生信号から雑音の
30 相関と分散を求めることを特徴とする情報記録再生装置。

【0175】（付記12）付記1乃至11のいずれかに記載の情報記録再生装置において、前記雑音相関演算部は、前記記憶部に記憶した雑音の相関とその分散を、媒体の各セクタ毎のプリアンプ部の振幅値に応じて補正して求めることを特徴とする情報記録再生装置。

【0176】（付記13）付記1乃至15のいずれかに記載の情報記録再生装置において、前記雑音相関演算部は、ある特定のタイミングで、雑音の相関と分散を再計算して前記記憶部を更新することを特徴とする情報記録
40 再生装置。

【0177】（付記14）情報記録再生方法において、現在と過去又は未来における入力信号パターンに依存した現時点に対する雑音の分散と、雑音の相関を求めて記憶し、前記雑音の相関と分散を使って有色雑音を白色化した前記入力信号パターンに対する白色化雑音値を求め、前記白色化した雑音値と白色化した雑音の分散から復号器の入力信号を算出することを特徴とする情報記録再生方法。（4）

【0178】（付記15）情報記録再生方法において、等化後雑音が白色雑音に近くなる等化信号を対象に、現在と過去又は未来における入力信号パターンに依存した現時点に対する雑音の分散を算出して記憶し、前記記憶した分散から復号器の入力信号を算出することを特徴とする情報記録再生方法。（5）

【0179】（付記16）最大事後確率復号（MAP復号）を行う情報記録再生方法において、等化後雑音が白色雑音に近くなる等化後の入力信号系列を対象に、過去及び未来における入力信号パターンに依存した過去及び未来の状態に対する雑音の分散を算出して記憶し、等化後の入力信号系列を小さなウィンドウ系列に分割し、ウィンドウ系列の順番に、前記記憶部に記憶した分散から入力信号の尤度をスライディングしながら算出することを特徴とする情報記録再生方法。（6）

【0180】（付記17）付記14乃至16のいずれかに記載の情報記録再生方法において、前記雑音相関演算部は、ある特定のタイミングで、雑音の相関と分散を再計算して前記記憶部を更新することを特徴とする情報記録再生方法。

【0181】（付記18）付記14記載の情報記録再生方法において、過去及び未来における現在の一つ前の状態から現在の状態へ遷移するパスを通過する過去及び未来の区間の全てのパスの内、パスメトリックが最小となる最短パスの等化波形平均値を求めて白色化した等化雑音値を推定することを特徴とする情報記録再生方法。

【0182】（付記19）付記14乃至18のいずれかに記載の情報記録再生方法において、過去のみ又は未来のみの入力信号パターンを対象とすることを特徴とする情報記録再生方法。

【0183】（付記20）付記14乃至18のいずれかに記載の情報記録再生方法において、入力信号パターンに対する等化信号の平均値を求め、等化波形と前記平均値との差により入力信号パターンに依存した雑音の相関とその分散を求めることを特徴とする情報記録再生方法。

【0184】（付記21）付記14乃至20のいずれかに記載の情報記録再生方法において、MTR拘束等の拘束条件付き符号を磁気記録して再生する場合、拘束を掛けないランダムな入力信号を使用したトレーニングにより、入力信号パターンに依存した雑音の相関とその分散を求めることを特徴とする情報記録再生方法。

【0185】（付記22）付記14乃至21のいずれかに記載の情報記録再生方法において、雑音の相関と分散をトラック幅方向に対する再生ヘッドの所定のオフトラック間隔で記憶部に記憶し、媒体プリアンプ部の振幅値の変化からオフトラック量を検知し、該オフトラック量に応じた雑音の相関と分散を前記記憶部から読み出して復号に使用することを特徴とする情報記録再生方法。

50 【0186】（付記23）付記14乃至22のいずれか

に記載の情報記録再生方法において、雑音の相関と分散をゾーン毎、シリンダ毎、あるいはセクタ毎に記憶してそれぞれの復号に使用することを特徴とする情報記録再生方法。

【0187】（付記24）付記14乃至23のいずれかに記載の情報記録再生方法において、媒体のトレーニングセクタ又はトレーニングシリンダに記録したトレーニング系列の再生信号から雑音の相関と分散を求めることを特徴とする情報記録再生方法。

【0188】（付記25）付記14乃至24のいずれかに記載の情報記録再生方法において、記憶部に記憶した雑音の相関とその分散を、媒体の各セクタ毎のプリアンプルの振幅値に応じて補正して求めることを特徴とする情報記録再生方法。

【0189】（付記26）付記14乃至25のいずれかに記載の情報記録再生方法において、ある特定のタイミングで、雑音の相関と分散を再計算して記憶部を更新することを特徴とする情報記録再生方法。

【0190】（付記27）信号復号回路において、現在と過去又は未来における入力信号パターンに依存した現在に対する雑音の分散と雑音の相関を算出する雑音相関演算部と、前記雑音の相関と前記分散を記憶する記憶部と、前記記憶部に記憶した雑音の相関と分散を使って有色雑音を白色化した前記入力信号パターンに対する白色化雑音値を求める白色化雑音演算部と、前記白色化した雑音値と白色化した雑音の分散から符号器の入力信号を算出する入力信号演算部と、を備えたことを特徴とする信号復号回路。（7）

【0191】（付記28）信号復号回路において、等化後雑音が白色雑音に近くなる等化目標を備えた等化器と、前記等化器からの入力信号に対し、現在と過去又は未来における入力信号パターンに依存した現時点に対する雑音の分散を算出する雑音相関演算部と、前記雑音の分散を記憶する記憶部と、前記記憶部に記憶した分散から復号器の入力信号を算出する入力信号演算部と、を備えたことを特徴とする信号復号回路。（8）

【0192】（付記29）信号復号回路において、等化後雑音が白色雑音に近くなる等化目標を備えた等化器と、前記等化器からの入力信号に対し、現在と過去又は未来における入力信号パターンに依存した現時点に対する雑音の分散を算出する雑音相関演算部と、前記雑音の分散を記憶する記憶部と、等化後の入力信号の系列を小さなウィンドウ系列に分割し、ウィンドウ系列の順番に、前記記憶部に記憶した分散から入力信号（チャンネル信号）の尤度を算出するスライディング・ウィンドウ処理部と、を備えたことを特徴とする信号復号回路。（9）

【0193】（付記30）付記27乃至29のいずれかに記載の信号復号回路において、反復方復号根最大事後確率復号又はビタビ復号を行うことを特徴とする信号復号回路。

【0194】（付記31）付記27記載の信号復号回路において、前記白色化雑音演算部は、過去及び未来における現在の一つ前の状態から現在の状態へ遷移するパスを通過する過去及び未来の区間の全てのパスの内、パスメトリックが最小となる最短パスの等化波形平均値を求めて白色化した等化雑音値を推定することを特徴とする信号復号回路。

【0195】（付記32）付記27乃至31のいずれかに記載の信号復号回路において、前記雑音相関演算部は、過去のみ又は未来のみの入力信号パターンを対象とすることを特徴とする信号復号回路。

【0196】（付記33）付記27乃至32のいずれかに記載の信号復号回路において、前記雑音相関演算部は、入力信号パターンに対する等化信号の平均値を求め、等化波形と前記平均値との差により入力信号パターンに依存した雑音の相関とその分散を求めることを特徴とする信号復号回路。

【0197】（付記34）付記27乃至33のいずれかに記載の信号復号回路において、前記雑音相関演算部は、MTR拘束等の拘束条件付き符号を磁気記録して再生する場合、拘束を掛けないランダムな入力信号を使用したトレーニングにより、入力信号パターンに依存した雑音の相関とその分散を求めることを特徴とする信号復号回路。

【0198】（付記35）付記27乃至34のいずれかに記載の信号復号回路において、前記雑音相関演算部は、前記記憶部に、前記雑音の相関と分散をトラック幅方向に対する再生ヘッドの所定のオフトラック間隔で記憶し、媒体プリアンプルの振幅値の変化からオフトラック量を検知し、該オフトラック量に応じた雑音の相関と分散を前記記憶部から読み出して復号に使用することを特徴とする信号復号回路。

【0199】（付記36）付記27乃至35のいずれかに記載の信号復号回路において、前記雑音相関演算部は、前記記憶部に、雑音の相関と分散をゾーン毎、シリンダ毎、あるいはセクタ毎に記憶して、それぞれの復号に使用することを特徴とする信号復号回路。

【0200】（付記37）付記37乃至36のいずれかに記載の信号復号回路において、前記雑音相関演算部は、媒体のトレーニングセクタ又はトレーニングシリンダに記録したトレーニング系列の再生信号から雑音の相関と分散を求めることを特徴とする信号復号回路。

【0201】（付記38）付記27乃至37のいずれかに記載の信号復号回路において、前記雑音相関演算部は、前記記憶部に記憶した雑音の相関とその分散を、媒体の各セクタ毎のプリアンプルの振幅値に応じて補正して求めることを特徴とする信号復号回路。

【0202】（付記39）付記27乃至37のいずれかに記載の信号復号回路において、前記雑音相関演算部は、ある特定のタイミングで、雑音の相関と分散を再計

算して前記憶部を更新することを特徴とする信号復号回路。

【0203】

【発明の効果】以上説明してきたように本発明によれば、磁気記録復号装置に特有の雑音モデルとして、過去、未来の入力信号パターンに依存した相関を持つガウスマルコフ型 (Gauss-Markov型) の有色雑音モデルを仮定し、この雑音モデルの特性をできるだけ計算効率のよい方法で取り込むことで、復号性能 (エラーレート性能) を向上させることができる。

【0204】また本発明は最大事後確率復号法 (MAP復号法) などの反復型復号法において、有色雑音モデルをガウス型で表現し、入力信号依存性のある正確な相関値 (分散) を用いることで、復号性能を向上させることができる。

【0205】またビタビ復号法においても、過去と未来の雑音相関に対する入力信号パターン依存性を正確に考慮することで、復号特性を向上させることができる。

【0206】更に、過去と未来の雑音相関に対する入力信号パターン依存性を、トレーニングにより求めて復号にて移用していることから、装置個々の状態に適合した最適な復号を動的に行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の原理説明図

【図2】本発明が適用されるハードディスクドライブのブロック図

【図3】図2の記録再生系となるリードチャンネルのブロック図

【図4】図3のCRC符号化から反復型復号器までの構成を取り出したブロック図

【図5】図3のうち符号化からCRC検出器までの構成を取り出したブロック図

【図6】PR4チャンネルにおける状態の説明図

【図7】PR4チャンネルにおける状態遷移の説明図

【図8】最大事後確率復号法 (MAP復号法) における α 、 β 、 γ の計算法の説明図

【図9】最大事後確率復号法 (MAP復号法) における計算手順のフローチャート

【図10】本発明の復号で使用する媒体上の記録信号に対する状態と等化の地波形の平均値を格納したテーブルの説明図

【図11】本発明の復号過程で取り込む雑音モデルの説明図

【図12】本発明の復号で使用する媒体上の信号の状態に対する雑音の相関と標準偏差を格納したテーブルの説明図

【図13】本発明の雑音予測最大事後確率復号法 (NP MAP復号法) における最短パスの選択例の説明図

【図14】本発明の雑音予測最大事後確率復号法 (NP MAP復号法) における状態のチャンネル情報の計算例の

説明図

【図15】トレーニング信号の記録再生による状態の信号及び雑音パラメータを取得するトレーニング機能のブロック図

【図16】トレーニングで取得した信号の状態に対する信号及び雑音パラメータを取り入れて復号するデータ信号記録再生のブロック図

【図17】本発明の最大事後確率復号 (MAP復号) に適用するスライディング・ウィンドウ法の説明図

10 【図18】スライディング・ウィンドウ法を用いた本発明の最大事後確率復号 (MAP復号) のフローチャート

【図19】16/17MTR符号にEEP4を適用した場合のPRチャンネルの状態説明図

【図20】16/17MTR符号にEEP4を適用した場合のPRチャンネルの状態遷移の説明図

【図21】図20のPRチャンネルを対象とした媒体上の信号状態に対する雑音の相関と標準偏差、および等化信号の平均値を格納したメモリテーブルの説明図

【符号の説明】

- 10 : S I S Cコントローラ
- 12 : ドライブコントロール
- 14 : エンクロージャ
- 16 : メインコントロールユニット (MCU)
- 18 : メモリ
- 20 : プログラムメモリ
- 22 : ハードディスクコントローラ (HDC)
- 24 : データバッファ
- 26 : ドライブインタフェースロジック
- 28 : DSP
- 30 : リードチャンネル (RDC)
- 32 : サーボドライバ
- 34 : ヘッドIC
- 36-1~36-6 : 復号ヘッド
- 38-1~38-3 : 磁気ディスク
- 40 : スピンドルモータ (SPM)
- 42 : ボイスコイルモータ (VCM)
- 44 : CRC符号器
- 46 : ECC符号器
- 48 : RLL/MTR符号器
- 40 50 : 外符号器ユニット
- 52 : 外符号器
- 54 : 内符号器 (磁気記録再生チャンネル)
- 56 : ヘッド/媒体
- 58 : 等化器
- 60 : 反復型復号器
- 62 : RLL/MTR復号器
- 64 : ECC復号器
- 66 : CRC検査器
- 70, 102 : インターリーバ
- 72, 108 : PUMUX

74: トレーニング系列発生器

76, 82: セレクタ

78: CTフィルタ

80: FIRフィルタ

84: 雑音相関演算部

86: 内符号復号器 (MAP復号器)

88: メモリ

90, 94, 95, 96, 98: 演算ブロック

* 91: 白色化雑音演算部

92: 入力信号演算部

100: DE-PUMUX

104: 外符号復号器

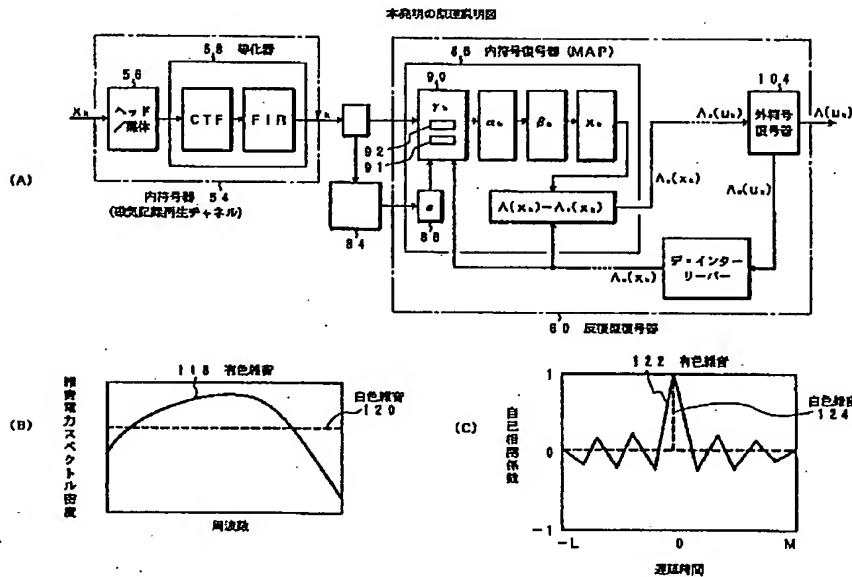
106: デ・インターリーバー

110: 硬判定ブロック

132-1, 132-i, 132-N: ウィンドウ

*

【図1】



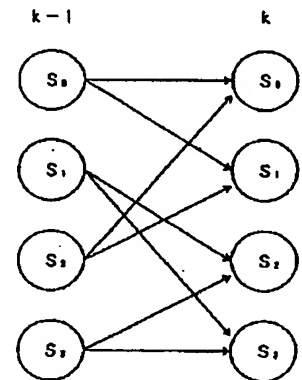
【図6】

PR4チャネルにおける状態の説明図

$x_{k-1} x_k$	状態
00	S_0
01	S_1
10	S_2
11	S_3

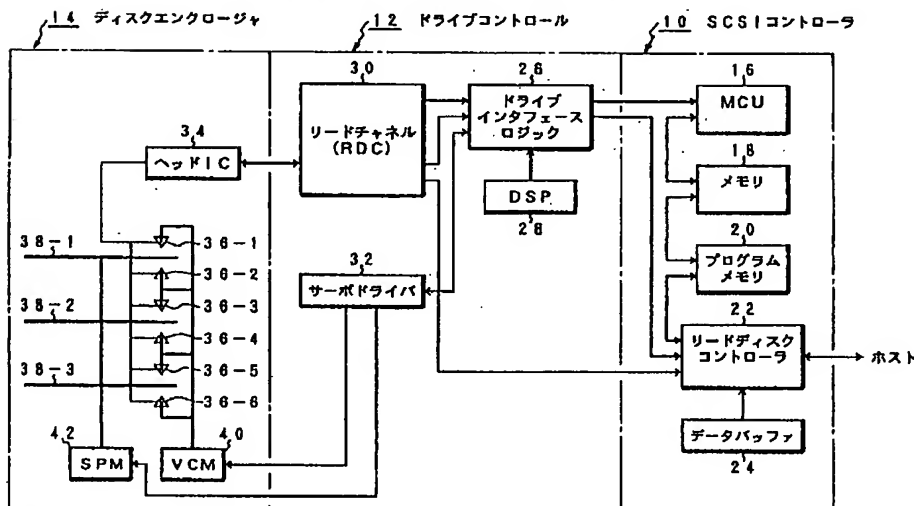
【図7】

PR4チャネルにおける状態遷移の説明図



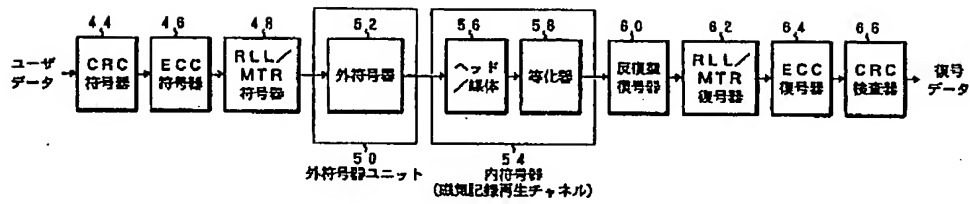
【図2】

本発明が適用されるハードディスクドライブのブロック図



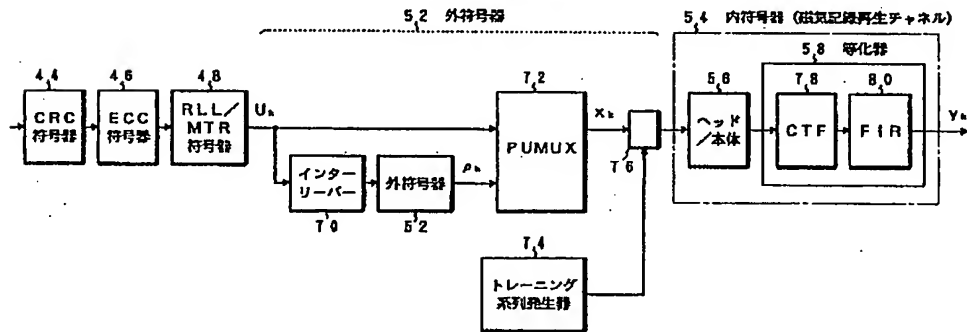
【図3】

図2の記録再生系となるリードチャネルのブロック図



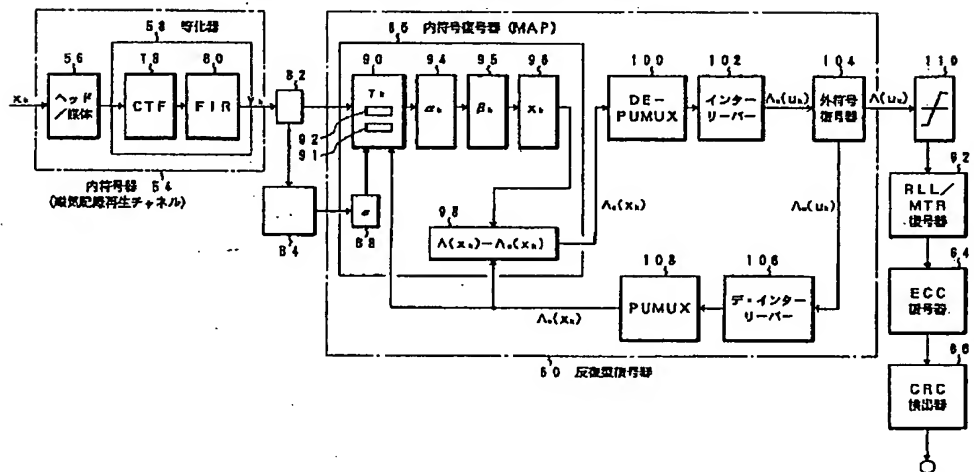
【図4】

図3のCRC符号化から反復型復号器までの構成を取り出したブロック図

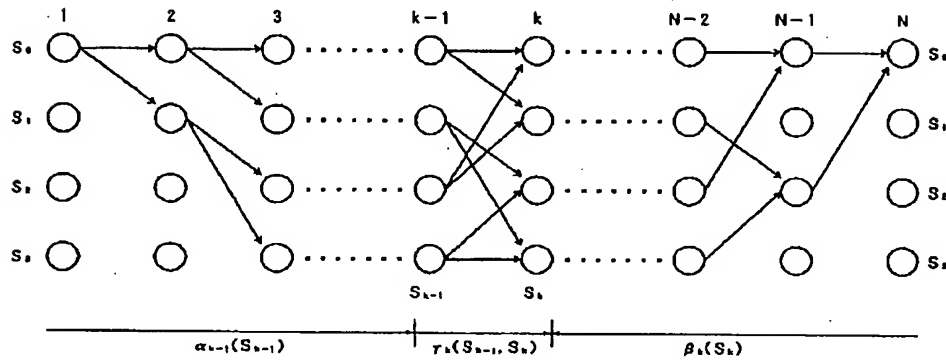


【図5】

図3のうち符号化からCRC検出器までの構成を取り出したブロック図

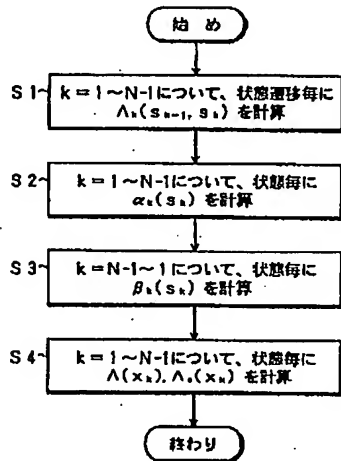


【図 8】

最大事後確率復号法 (MAP 復号法) における α 、 β 、 γ の計算法の説明図

【図 9】

最大事後確率復号法 (MAP 復号法) における計算手順のフローチャート



【図 10】

本発明の復号で使用する媒体上の記録信号に対する状態と等化の地波形の平均値を格納したテーブルの説明図

媒体上の記録信号 x_k						状態	等化残波の平均値
x_{k-N}	...	x_{k-1}	x_k	x_{k+1}	...	x_{k+Q}	
0	...	0	0	0	...	0	$d(S_0^m)$
0	...	0	0	0	...	1	$d(S_1^m)$
...
1	...	1	1	1	...	0	$d(S_{2^{N+Q+1}-2}^m)$
1	...	1	1	1	...	1	$d(S_{2^{N+Q+1}-1}^m)$

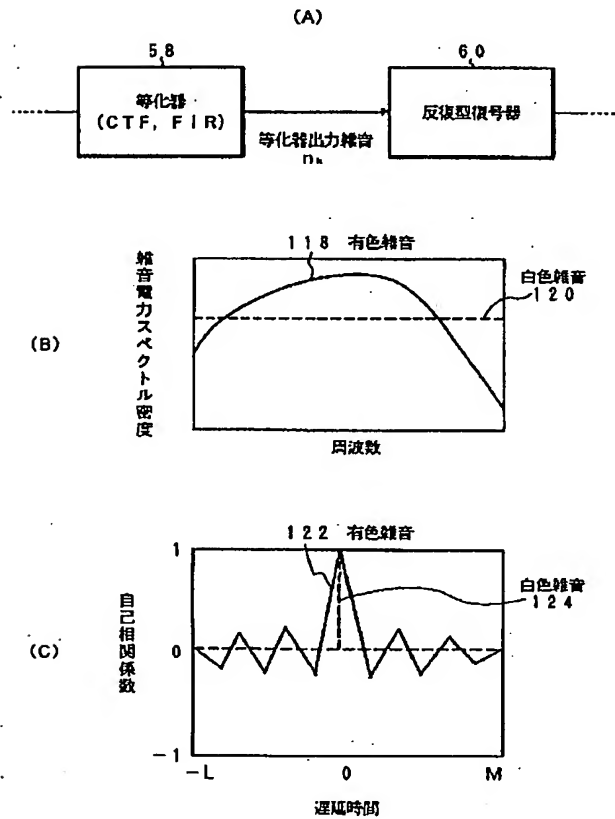
【図 12】

本発明の復号で使用する媒体上の信号の状態に対する雑音の相関と標準偏差を格納したテーブルの説明図

状態	雑音の相関						雑音の標準偏差 $\sigma(S_t^m)$
	$e_{-1}(S_t^m)$	...	$e_{-1}(S_t^m)$	$e_1(S_t^m)$	...	$e_M(S_t^m)$	
S_0^m	$e_{-1}(S_0^m)$	...	$e_{-1}(S_0^m)$	$e_1(S_0^m)$	...	$e_M(S_0^m)$	$\sigma(S_0^m)$
S_1^m	$e_{-1}(S_1^m)$	...	$e_{-1}(S_1^m)$	$e_1(S_1^m)$	...	$e_M(S_1^m)$	$\sigma(S_1^m)$
...
$S_{2^{N+Q+1}-2}^m$	$e_{-1}(S_{2^{N+Q+1}-2}^m)$	...	$e_{-1}(S_{2^{N+Q+1}-2}^m)$	$e_1(S_{2^{N+Q+1}-2}^m)$	...	$e_M(S_{2^{N+Q+1}-2}^m)$	$\sigma(S_{2^{N+Q+1}-2}^m)$
$S_{2^{N+Q+1}-1}^m$	$e_{-1}(S_{2^{N+Q+1}-1}^m)$	...	$e_{-1}(S_{2^{N+Q+1}-1}^m)$	$e_1(S_{2^{N+Q+1}-1}^m)$	...	$e_M(S_{2^{N+Q+1}-1}^m)$	$\sigma(S_{2^{N+Q+1}-1}^m)$

【図 11】

本発明の復号過程で取り込む雑音モデルの説明図



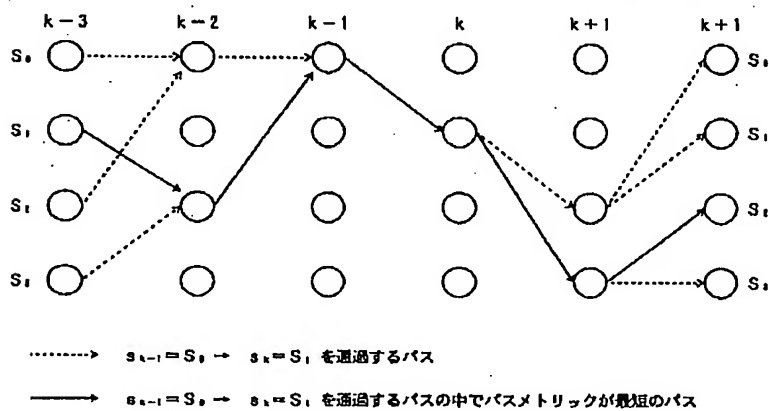
【図 19】

16/17MT-R符号にEPR4を適用した場合のPRチャネルの状態説明図

$x_{k-3}x_{k-2}x_{k-1}x_k$	状態
0000	S_{-3}^*
0001	S_{-2}^*
0010	S_{-1}^*
0011	S_0^*
0100	S_1^*
0101	存在しない
0110	S_2^*
0111	S_3^*
1000	S_{-4}^*
1001	S_{-3}^*
1010	存在しない
1011	S_{-1}^*
1100	S_{-2}^*
1101	S_{-3}^*
1110	S_{-4}^*
1111	S_{-5}^*

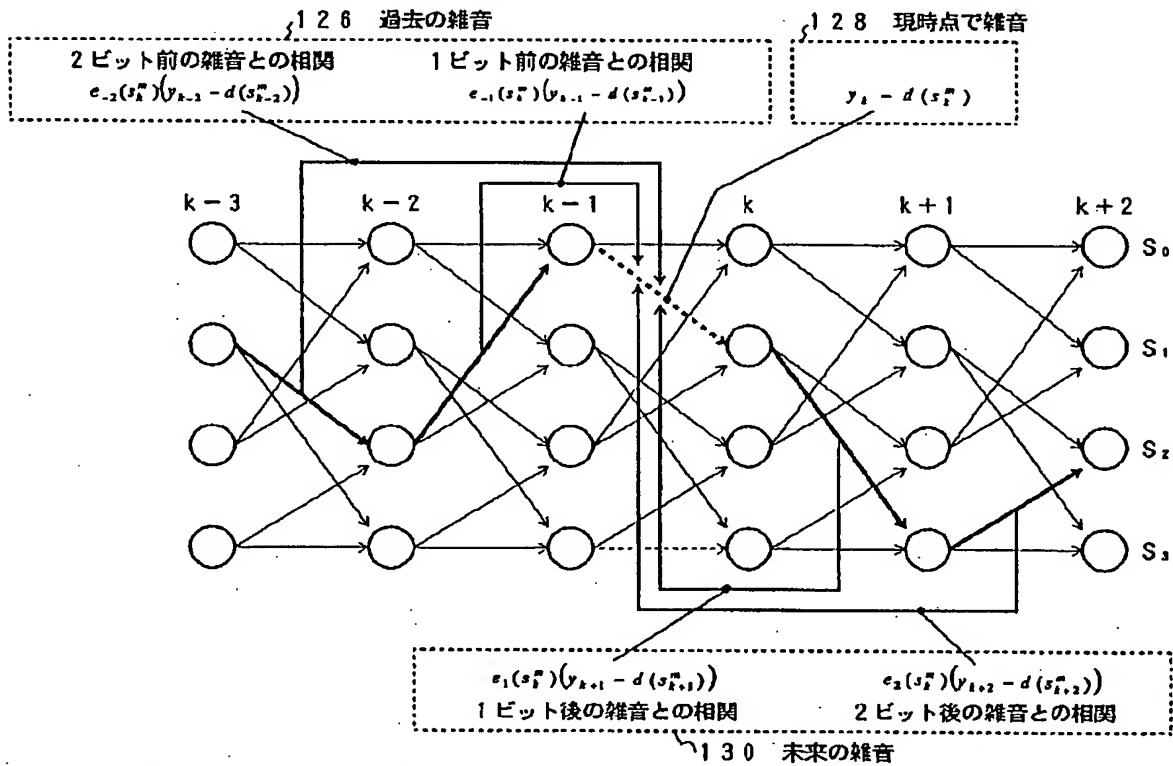
【図 13】

本発明の雑音予測最大事後確率復号法 (NPMAP 復号法) における最短パスの選択例の説明図



【図14】

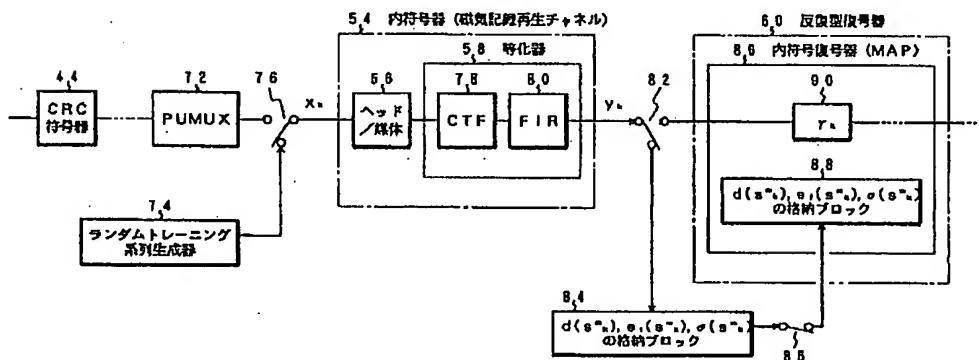
本発明の雑音予測最大事後確率復号法（NPMAF復号法）における状態のチャネル情報の計算例の説明図



$$\Lambda_k(y_k | s_k^m) = -\ln p(y_k | s_k^m) = -\ln p(y_k - d(s_k^m) | e_{-2}(s_k^m)(y_{k-2} - d(s_{k-2}^m)) - e_{-1}(s_k^m)(y_{k-1} - d(s_{k-1}^m)) - e_1(s_k^m)(y_{k+1} - d(s_{k+1}^m)) - e_2(s_k^m)(y_{k+2} - d(s_{k+2}^m)))$$

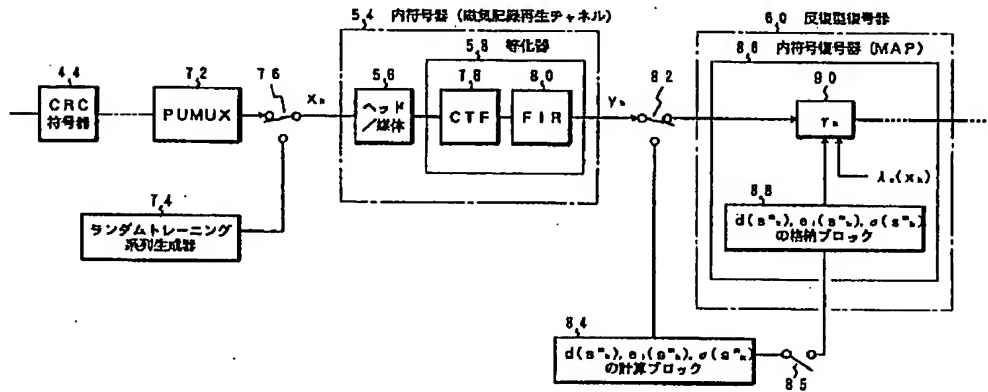
【図15】

トレーニング信号の記録再生による状態の信号及び雑音パラメータを取得するトレーニング機能のブロック図



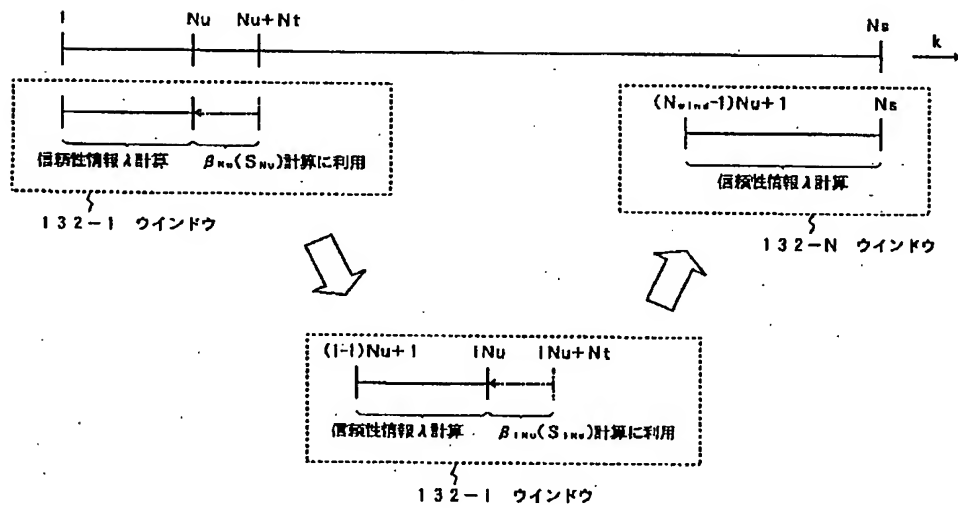
【図 16】

トレーニングで取得した信号の状態に対する信号及び雑音パラメータを取り入れて復号するデータ符号記録再生のブロック図



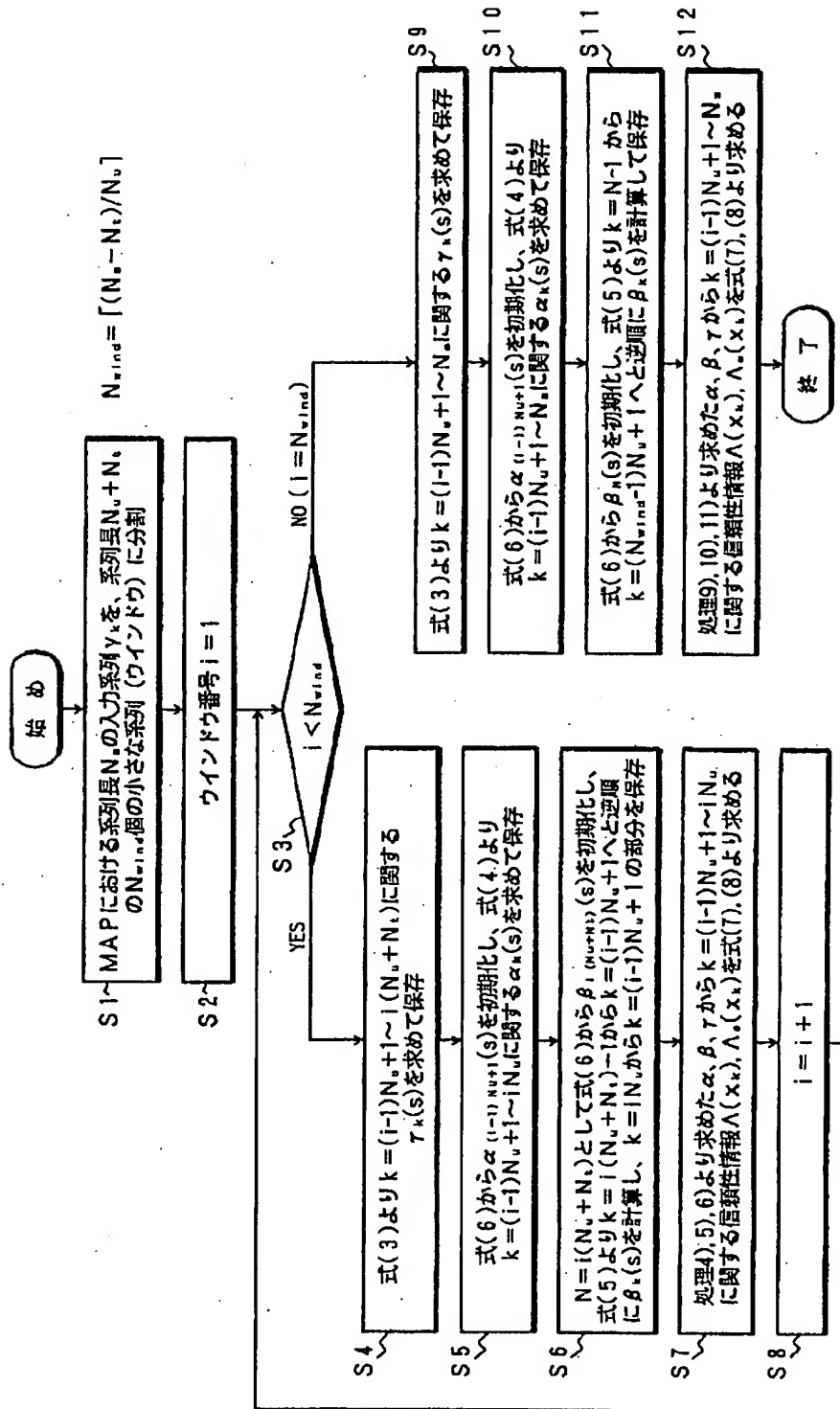
【図 17】

本発明の最大事後確率復号 (MAP 復号) に適用するスライディング・ウィンドウ法の説明図



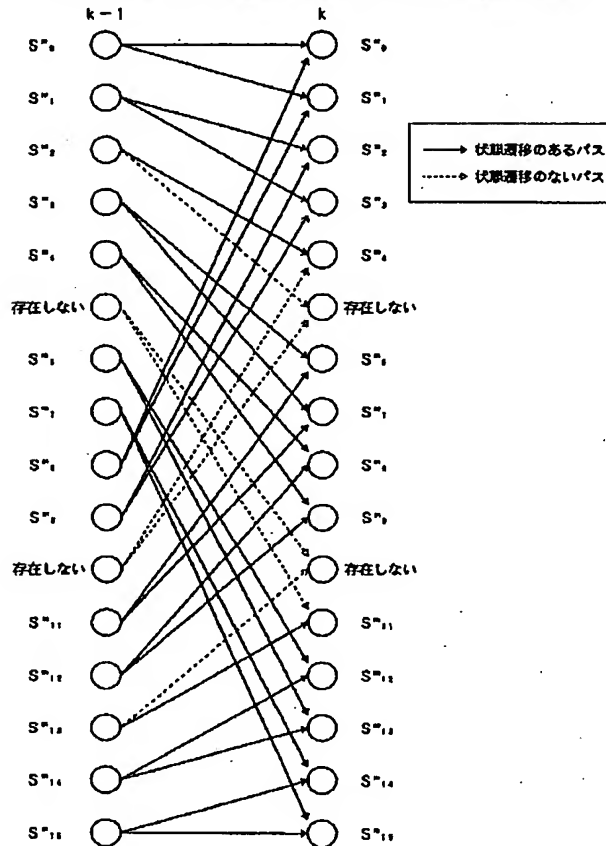
【図18】

スライディング・ウィンドウ法を用いた本発明の最大事後確率復号 (MAP復号) のフローチャート



【図 20】

16/11 TMTR符号にEPR4を適用した場合のPRチャネルの状態遷移の説明図



【図 21】

図 20 の PR チャネルを対象とした媒体上の信号状態に対する符号の相関と標準偏差、および等化信号の平均値を格納したメモリーテーブルの説明図

状態	符号の相関						符号の標準偏差 $\sigma(S^m_i)$	等化信号の平均値 $d(S^m_i)$
	$e_{-1}(S^m_i)$	...	$e_{-1}(S^m_i)$	$e_1(S^m_i)$	...	$e_M(S^m_i)$		
S^m_0	$e_{-1}(S^m_0)$	...	$e_{-1}(S^m_0)$	$e_1(S^m_0)$	...	$e_M(S^m_0)$	$\sigma(S^m_0)$	$d(S^m_0)$
S^m_1	$e_{-1}(S^m_1)$	...	$e_{-1}(S^m_1)$	$e_1(S^m_1)$	...	$e_M(S^m_1)$	$\sigma(S^m_1)$	$d(S^m_1)$
S^m_2	$e_{-1}(S^m_2)$	...	$e_{-1}(S^m_2)$	$e_1(S^m_2)$	...	$e_M(S^m_2)$	$\sigma(S^m_2)$	$d(S^m_2)$
S^m_3	$e_{-1}(S^m_3)$	...	$e_{-1}(S^m_3)$	$e_1(S^m_3)$	...	$e_M(S^m_3)$	$\sigma(S^m_3)$	$d(S^m_3)$
S^m_4	$e_{-1}(S^m_4)$	...	$e_{-1}(S^m_4)$	$e_1(S^m_4)$	...	$e_M(S^m_4)$	$\sigma(S^m_4)$	$d(S^m_4)$
存在しない	—	...	—	—	—	—	—	—
S^m_5	$e_{-1}(S^m_5)$	...	$e_{-1}(S^m_5)$	$e_1(S^m_5)$	...	$e_M(S^m_5)$	$\sigma(S^m_5)$	$d(S^m_5)$
S^m_6	$e_{-1}(S^m_6)$	...	$e_{-1}(S^m_6)$	$e_1(S^m_6)$	...	$e_M(S^m_6)$	$\sigma(S^m_6)$	$d(S^m_6)$
S^m_7	$e_{-1}(S^m_7)$	...	$e_{-1}(S^m_7)$	$e_1(S^m_7)$	...	$e_M(S^m_7)$	$\sigma(S^m_7)$	$d(S^m_7)$
S^m_8	$e_{-1}(S^m_8)$	...	$e_{-1}(S^m_8)$	$e_1(S^m_8)$	...	$e_M(S^m_8)$	$\sigma(S^m_8)$	$d(S^m_8)$
S^m_9	$e_{-1}(S^m_9)$	...	$e_{-1}(S^m_9)$	$e_1(S^m_9)$	...	$e_M(S^m_9)$	$\sigma(S^m_9)$	$d(S^m_9)$
存在しない	—	...	—	—	—	—	—	—
S^m_{10}	$e_{-1}(S^m_{10})$	...	$e_{-1}(S^m_{10})$	$e_1(S^m_{10})$	...	$e_M(S^m_{10})$	$\sigma(S^m_{10})$	$d(S^m_{10})$
S^m_{11}	$e_{-1}(S^m_{11})$	...	$e_{-1}(S^m_{11})$	$e_1(S^m_{11})$	...	$e_M(S^m_{11})$	$\sigma(S^m_{11})$	$d(S^m_{11})$
S^m_{12}	$e_{-1}(S^m_{12})$	...	$e_{-1}(S^m_{12})$	$e_1(S^m_{12})$	...	$e_M(S^m_{12})$	$\sigma(S^m_{12})$	$d(S^m_{12})$
S^m_{13}	$e_{-1}(S^m_{13})$	...	$e_{-1}(S^m_{13})$	$e_1(S^m_{13})$	...	$e_M(S^m_{13})$	$\sigma(S^m_{13})$	$d(S^m_{13})$
S^m_{14}	$e_{-1}(S^m_{14})$	...	$e_{-1}(S^m_{14})$	$e_1(S^m_{14})$	...	$e_M(S^m_{14})$	$\sigma(S^m_{14})$	$d(S^m_{14})$
S^m_{15}	$e_{-1}(S^m_{15})$	...	$e_{-1}(S^m_{15})$	$e_1(S^m_{15})$	...	$e_M(S^m_{15})$	$\sigma(S^m_{15})$	$d(S^m_{15})$

【手続補正書】

【提出日】平成13年10月19日(2001.10.19)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】請求項1

【補正方法】変更

【補正内容】

【請求項1】情報記録再生装置において、
現在と過去又は未来における入力信号パターンに依存した現在に対する雑音の分散と雑音の相関を算出する雑音相関演算部と、
前記雑音の相関と前記分散を記憶する記憶部と、
前記記憶部に記憶した雑音の相関と分散を使って有色雑音を白色化した前記入力信号パターンに対する白色化雑音値を求める白色化雑音演算部と、
前記白色化した雑音値と白色化した雑音の分散から復号器の入力信号を算出する入力信号演算部と、を備えたことを特徴とする情報記録再生装置。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】請求項7

【補正方法】変更

【補正内容】

【請求項7】信号復号回路において、
現在と過去又は未来における入力信号パターンに依存した現在に対する雑音の分散と雑音の相関を算出する雑音相関演算部と、
前記雑音の相関と前記分散を記憶する記憶部と、
前記記憶部に記憶した雑音の相関と分散を使って有色雑音を白色化した前記入力信号パターンに対する白色化雑音値を求める白色化雑音演算部と、
前記白色化した雑音値と白色化した雑音の分散から復号器の入力信号を算出する入力信号演算部と、を備えたことを特徴とする信号復号回路。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0003

【補正方法】変更

【補正内容】

【0003】近年、記録再生装置のエラー訂正は、主としてPRML(Partial Response Maximum Likelihood)及びECC(Error Correction Code)と呼ぶ2つの手法の組合せによって実現されている。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0004

【補正方法】変更

【補正内容】

【0004】PRMLは、記録チャネルを符号間干渉の

あるパシヤルレスポンスチャネル(PRチャネル)とみなし、一般にビタビ検出器を用いた最尤復号(Maximum Likelihood Decoding)を行う方法である。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0005

【補正方法】変更

【補正内容】

【0005】また近年、PRMLに変わる新しい符号・復号方法として、ターボ符号や低密度パリティ検査符号(LDPC: Low Density Parity Check Code)等が提案されている。これらは反復計算で復号を行うことから、ここでは反復型復号法(iterative decoding method)と総称する。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0029

【補正方法】変更

【補正内容】

【0029】雑音相関演算部は、MTR拘束等の拘束条件付き符号を磁気記録して再生する場合、拘束を掛けないランダムな入力信号を使用したトレーニングにより、入力信号パターンに依存した雑音の相関とその分散を求める。これによりMTR拘束によって出現確率が低く抑えられたパターンが存在した場合でも、効果的に雑音相関を求めるためのトレーニング回数の削減する。またMTR拘束を考慮した復号を行うことによって、復号に要する状態とパスを削減し、効率を高めて復号性能(エラーレート)を向上できる。

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0043

【補正方法】変更

【補正内容】

【0043】更に本発明の信号復号回路は、等化後雑音が白色雑音に近くなる等化目標を備えた等化器と、等化器からの入力信号に対し、現在と過去又は未来における入力信号パターンに依存した現時点に対する雑音の分散を算出する雑音相関演算部と、雑音の分散を記憶する記憶部と、等化後の入力信号の系列を小さなウィンドウ系列に分割し、ウィンドウ系列の順番に、記憶部に記憶した分散から入力信号(チャネル信号)を求め、尤度を算出するスライディング・ウィンドウ処理部とを備えたことを特徴とする。これらの信号復号回路における他の特徴は、情報記録再生装置の場合と同じになる。

【手続補正8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0046

【補正方法】変更

【補正内容】

【0046】ドライブコントロール12には、ドライブインタフェースロジック26、DSP28、リードチャネル30及びサーボドライバ34が設けられる。

【手続補正9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0050

【補正方法】変更

【補正内容】

【0050】次に、ECC符号器46の出力結果がPLL (Phase Locked Loop)による再生時のタイミング補正を可能ならしめるためのRL (Run Length Limited)符号器に入力される。この例では、磁気記録再生チャネルの特性を考慮して連続磁化反転を制限するMTR (Maximum Transition Run) 符号を採用していることから、RL/MTR符号器48に入力される。

【手続補正10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0051

【補正方法】変更

【補正内容】

【0051】RL/MTR符号器48の出力結果 u_k は、外符号器ユニット50の外符号器52に入力される。外符号器52の出力 x_k は、ヘッド/媒体56を介して磁気記録後に再生される。再生されたアナログ信号は、等化器58を介してPR4、EPR4、EPR4、MEPR4等の所望の目標波形となるように信号が整形され、チャネル信号 y_k となる。

【手続補正11】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0058

【補正方法】変更

【補正内容】

【0058】ここで、FIRフィルタ80の出力 y_k は、ヘッド/媒体56、CTフィルタ78、及びFIRフィルタ80からなる磁気記録再生チャネルを内符号器54とみなした場合、PUMUX72の出力 x_k に対する内符号系列となる。図5は、図3の内符号器54からCRC検出器66までの詳細である。磁気記録再生チャネルである内符号器54により系列 x_k が等化器58の出力となる内符号系列 y_k に変換され、磁気記録再生チャネルに対する復号器となる反復型復号器60に設けた内符号復号器86に送られる。内符号復号器86は、この例では、最大事後確率復号を行うMAP復号器とする。

【手続補正12】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0060

【補正方法】変更

【補正内容】

【0060】内符号復号器86では最大事後確率アルゴリズム (MAPアルゴリズム) により、内符号系列 y_k 、標準偏差 σ 、及び記録系列 x_k に対する事前情報 $\Lambda_k(x_k)$ から、磁気記録再生チャネルにおける状態の時間遷移を表すトレリス線図上の各状態における $k-1$ 時点から k 時点への遷移確率である演算ブロック90の γ_k 、トレリスの始端から $k-1$ 時点までの各状態にいたる確率である演算ブロック94の α_{k-1} 、トレリスの終端から k 時点までの各状態にいたる確率である演算ブロック95の β_k 、そして α_{k-1} 、 β_k 、 γ_k の積より計算される各ビットに対する信頼性情報である演算ブロック96の $\Lambda(x_k)$ を算出する。

【手続補正13】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0061

【補正方法】変更

【補正内容】

【0061】演算ブロック96の信頼性情報 $\Lambda(x_k)$ から事前情報 $\Lambda_e(x_k)$ を演算ブロック98で減じることにより外部情報 $\Lambda_e(x_k)$ を計算し、これが出力となる。出力された外部情報 $\Lambda_e(x_k)$ は、図4のPUMUX72の逆操作を行うDE-PUMUX100、インターリーバ102を経て、RL/MTR符号器出力系列 u_k に対する事前情報 $\Lambda_e(u_k)$ として外符号復号器104に入力される。

【手続補正14】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0062

【補正方法】変更

【補正内容】

【0062】外符号復号器104で外符号を復号した後、適当な反復終了条件を満たしていなければ、RL/MTR符号器出力系列 u_k に対する外部情報 $\Lambda_e(u_k)$ を、図4のインターリーバ70の逆操作を行うデインターリーバ106及びPUMUX108を介して内符号復号器86に記録系列 x_k に対する事前情報 $\Lambda_e(x_k)$ として送る。

【手続補正15】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0066

【補正方法】変更

【補正内容】

【0066】次に、図5の磁気記録再生チャネルに対するMAP復号器となる内符号復号器86で行われるBCJR復号法 (Bahl-Cocke-Jelinek-Raviv復号法) の手順について説明する。記録系列 x_k に対する図5の内符号器54である磁気記録再生チャネルがPRチャネル、例えばPR4チャネルとなっているものとする。このPR4チャネルの各状態を図6のように定めるものとする、各状態における時間に対する推移を表す状態推移図は図

7のように表せる。

【手続補正16】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0071

【補正方法】変更

【補正内容】

【0071】チャネル情報 $\Lambda_c(x_k)$ と記録系列 x_k に対する事前情報 $\Lambda_s(x_k)$ からPR4チャネルに対する最大事後確率復号は図8のように行われる。ここで、 $\gamma_k(s_{k-1}, s_k)$ はk時点における各状態にk-1時点の各状態から遷移する確率、 $\alpha_{k-1}(s_{k-1})$ はk-1時点における各状態にトレリスの始端から至る確率、 $\beta_k(s_k)$ はk時点における各状態にトレリスの終端から溯って至る確率であり、それぞれ式(3)~(5)で表すことができる。

【手続補正17】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0079

【補正方法】変更

【補正内容】

【0079】図9は、BCJR復号アルゴリズムにおける計算の手順をまとめたフローチャートである。まずステップS1で(2)(3)式に基づいて $\gamma_k(s_{k-1}, s_k)$ を算出する。次に、ステップS2で(4)式に基づき $\alpha_k(s_k)$ を求め、ステップS3で(5)式に基づいて $\beta_k(s_k)$ を求める。最後にステップS4で(7)(8)式に基づいて $\Lambda(x_k)$ $\Lambda_s(x_k)$ を得る。

【手続補正18】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0094

【補正方法】変更

【補正内容】

【0094】そして、状態 $S_0 \sim S_{2^{(N+Q-1)}-1}$ に対する本発明における等化後波形 y_k の平均値 $d(S_0) \sim d(S_{2^{(N+Q-1)}-1})$ を、トレーニング系列を使用して図5の雑音相関演算部84により図10のように求める。このトレーニング系列を使用した雑音相関の演算は、図4及び図5のトレーニング系列発生器74、セクタ76、82、雑音相関演算部84により実現され、この点は後の説明で明らかにする。また、図10において、 $N=0$ とすることで未来のみ、 $Q=0$ とすることで過去のみ、記録信号依存性を考慮することによって、トレーニング回数、平均値計算時間、図10の記録信号状態依存性を格納するメモリを削減できる。

【手続補正19】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0098

【補正方法】変更

【補正内容】

【0098】図11は、雑音モデルの説明図である。式(16)から求めた図11(A)の等化器58における出力雑音 w_k が、図11(B)のように、周波数スペクトル118のように周波数依存性を持った有色雑音であり、図11(C)の時間軸上では、過去Lビット、未来Mビットの雑音と相関のあるガウスマルコフ(Gauss-Markov)系列の自己相関122を持つとする。なお、白色ガウス雑音については破線の周波数スペクトル120と自己相関124を持つ。

【手続補正20】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0101

【補正方法】変更

【補正内容】

【0101】ここに、 $e_{-L}(s_k) \sim e_{-1}(s_k)$ は記録状態 s_k に依存した過去Lビットの雑音の現時点に対する重み、 $e_1(s_k) \sim e_M(s_k)$ は記録状態 s_k に依存した未来Mビットの雑音の現時点に対する重み、 w_k は現時点に加わる白色ガウス雑音である。

【手続補正21】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0126

【補正方法】変更

【補正内容】

【0126】この式(25)によるチャネル情報の演算は、図5の演算ブロック90に内蔵している白色化雑音演算部91と入力信号演算部92で行う。即ち、白色化雑音演算部91は、記憶部88に記憶した図12のテーブルの雑音の相関 $e(s_k)$ とその分散 $\sigma(s_k)$ を使って、図11(B)の周波数スペクトル118を持つ有色雑音を、周波数スペクトル120の白色化した過去及び未来の状態に対する白色化雑音値として求める。

【手続補正22】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0133

【補正方法】変更

【補正内容】

【0133】トレーニング系列の記録再生中は、CRC符号器44からPUMUX72に至る系列による符号化は行われず、セクタ76の切替えによりトレーニング系列発生器74から生成されたランダムなトレーニング系列をヘッド/媒体56により記録再生し、CTフィルタ78及びFIRフィルタ80からなる等化器58により所望の等化波形に整形する。

【手続補正23】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0135

【補正方法】変更

【補正内容】

【0135】図16は、トレーニング終了後のデータ系列の記録再生状態である。このデータ系列の記録再生中は、セクタ76によりトレーニング系列発生器74は

切り離され、ユーザデータ系列に対してCRC符号器44からPUMUX72に至る過程で符号化が施され、ヘッド/媒体56により記録再生し、CTフィルタ78及びFIRフィルタ80からなる等化器58により所望の等化波形に整形される。

【手続補正24】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0144

【補正方法】変更

【補正内容】

【0144】スライディング・ウィンドウ法では、図5の内符号復号器86において、まず、系列長 N_w の受信系列 y_k を系列長 N_w の小さな系列、即ちウィンドウ(Window)に分割する。この分割した系列長 N_w の系列に対する信頼性情報を、式(26)、(3)~(7)に従ってそれぞれ計算することにより、最大事後確率復号器(MAP復号器)における $\alpha(x_k)$ 、 $\beta(x_k)$ 、 $\gamma(x_k)$ 、 $\Lambda(x_k)$ 、即ち図5の演算ブロック90、94、95、96を格納するメモリを削減でき、また復号遅延を短くすることができる。

【手続補正25】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0149

【補正方法】変更

【補正内容】

【0149】i番目のウィンドウ132-iにおいて、同様に、トレーニング系列 $y_{(i-1)N_w+1}$ 、 \dots 、 y_{iN_w} を用いて β_{iN_w} を計算し、信頼性情報 $\Lambda_{(i-1)N_w+1}$ 、 \dots 、 Λ_{iN_w} を求める。最後の N_{wind} 番目のウィンドウ132-Nでは、系列 $y_{(N_{wind}-1)N_w+1}$ 、 \dots 、 y_N を用いて、式(26)、(3)~(7)から信頼性情報 $\Lambda_{(N_{wind}-1)N_w+1}$ 、 \dots 、 Λ_N を求める。

【手続補正26】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0154

【補正方法】変更

【補正内容】

【0154】次に本発明の第5実施形態を説明する。本発明の第1実施形態で、RL符号としてMTR符号(Maximum Transition Run)を採用したとき、MTR符号の拘束条件やパーシャルレスポンスPRによっては、図6、図10、図12における状態の消失やトレリス上のパスが制限される場合がある。そこで第5実施形態にあっては、状態の消失やトレリス上のパスの制限を考慮し、効率のよい $d(s_k)$ 、 $e(s_k)$ 、 $\sigma(s_k)$ のトレーニングを行い、効率のよい復号を行う。

【手続補正27】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0164

【補正方法】変更

【補正内容】

【0164】(付記1)情報記録再生装置において、現在と過去又は未来における入力信号パターンに依存した現在に対する雑音の分散と雑音の相関を算出する雑音相関演算部と、前記雑音の相関と前記分散を記憶する記憶部と、前記記憶部に記憶した雑音の相関と分散を使って有色雑音を白色化した前記入力信号パターンに対する白色化雑音値を求める白色化雑音演算部と、前記白色化した雑音値と白色化した雑音の分散から復号器の入力信号を算出する入力信号演算部と、を備えたことを特徴とする情報記録再生装置。(1)

【手続補正28】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0167

【補正方法】変更

【補正内容】

【0167】(付記4)付記1乃至3のいずれかに記載の情報記録再生装置において、前記復号器は反復型復号器として最大事後確率復号又はビタビ復号を行うことを特徴とする情報記録再生装置。

【手続補正29】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0190

【補正方法】変更

【補正内容】

【0190】(付記27)信号復号回路において、現在と過去又は未来における入力信号パターンに依存した現在に対する雑音の分散と雑音の相関を算出する雑音相関演算部と、前記雑音の相関と前記分散を記憶する記憶部と、前記記憶部に記憶した雑音の相関と分散を使って有色雑音を白色化した前記入力信号パターンに対する白色化雑音値を求める白色化雑音演算部と、前記白色化した雑音値と白色化した雑音の分散から復号器の入力信号を算出する入力信号演算部と、を備えたことを特徴とする信号復号回路。(7)

【手続補正30】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0203

【補正方法】変更

【補正内容】

【0203】

【発明の効果】以上説明してきたように本発明によれば、磁気記録再生装置に特有の雑音モデルとして、過去、未来の入力信号パターンに依存した相関を持つガウス・マロコフ型(Gauss-Markov型)の有色雑音モデルを仮定し、この雑音モデルの特性をできるだけ計算効率のよい方法で取り込むことで、復号性能(エラーレート性能)を向上させることができる。

【手続補正31】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】 0206

【補正方法】 変更

【補正内容】

【0206】 更に、過去と未来の雑音相関に対する入力*

* 信号パターン依存性を、トレーニングにより求めて復号にて利用していることから、装置個々の状態に適合した最適な復号を動的に行うことができる。

フロントページの続き

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	ターマコード (参考)
G 1 1 B 20/18	5 3 2	G 1 1 B 20/18	5 3 2 H
	5 3 4		5 3 4 A
	5 4 0		5 4 0
	5 7 2		5 7 2 B
			5 7 2 C
			5 7 2 D
			5 7 2 F
			5 7 2 G
H 0 3 M 13/01		H 0 3 M 13/01	
13/35		13/35	
13/39		13/39	
(72) 発明者 佐藤 裕一		(72) 発明者 ▲高▼津 求	
神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番		神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番	
1 号 富士通株式会社内		1 号 富士通株式会社内	
(72) 発明者 森田 俊彦		F ターム (参考) 5B001 AA10 AA13 AB02 AC01 AC02	
神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番		AD04 AE02	
1 号 富士通株式会社内		5D044 BC01 BC02 BC06 CC01 CC04	
		DE68 DE81 EF05 FG18	
		5J065 AA01 AB01 AC03 AD10 AD13	
		AE06 AF02 AG05 AH06 AH19	